



Rotas de Recolha de leite humano para o Banco de Leite

Ana Teresa Ferreira Fernandes

Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

Trabalho de Projeto orientado por:
Maria da Conceição da Fonseca

Agradecimentos

Esta dissertação é o culminar destes últimos dois anos e não posso concluir sem agradecer às pessoas que mais contribuíram para a conclusão deste mestrado.

Antes de tudo quero agradecer ao Doutor Israel Macedo, coordenador do Banco de Leite Humano da Maternidade Alfredo da Costa, por ter disponibilizado o seu tempo, informações e dados sobre a atualidade portuguesa do banco, que foram essenciais à realização desta dissertação.

Um especial obrigado á minha orientadora, a professora Maria da Conceição da Fonseca por todo o apoio dado, respondendo às minhas questões sempre que necessitava e me ter acompanhado de perto nestes últimos meses. À professora Teresa Alpuim por ter me guiado para este tema.

À Jéssica, obrigada por todo o apoio e carinho, e pelos incentivos de trabalho que foram fulcrais para a conclusão desta tese. À Catarina e aos restantes amigos, agradeço por me terem ajudado a alcançar este objectivo.

Por fim agradeço a minha família por todo o apoio, e em especial a minha mãe que me alertou para a problemática dos Bancos de Leite.

Obrigada a todos.

Resumo

Um Banco de Leite Humano (BLH) é uma instituição que recolhe doações de leite humano, processa e fornece o leite a recém-nascidos necessitados, sendo responsável por toda a logística envolvida neste processo.

Em Portugal existe um único BLH atualmente com um número reduzido de doações devido à falta de financiamento na área da saúde.

O leite humano é um bem precioso e passível de degradação, portanto necessita de um transporte especializado sujeito a regulamentações. Após as dadoras extraírem o leite, nos seus domicílios, este terá de ser congelado e manter-se assim até ao seu processamento no BLH. O transporte deverá ser feito de maneira cuidada de forma a não descongelar o leite, o que se traduz numa janela de tempo reduzida para efetuar a recolha.

Esta dissertação tem como objetivo simular e ajudar o BLH português a alcançar uma realidade melhor, com um nível superior de doações para que possa ajudar mais bebés e mostrar quais seriam as adaptações necessárias de forma a minimizar os custos do processo de recolha deste bem. Neste sentido, foram geradas instâncias para simular possíveis realidades, com base no que acontece em outros países prevendo o mesmo futuro neste banco.

O problema do transporte (recolha) do leite é um *Vehicle Routing Problem*, com restrições de capacidade e uma restrição adicional de tempo de viagem. Para a sua resolução foram utilizados dois métodos. Considerou-se o modelo matemático em programação linear inteira mista e uma heurística. A heurística utilizada divide-se em duas fases: com a criação de Clusters primeiro através do método *sweep*, seguida da criação das rotas. As rotas foram criadas através de uma adaptação do método de *inserção de menor custo*, finalizando o processo com o método de melhoramento *2-otimal*. Com vista à obtenção da melhor solução possível, fazem-se várias iterações e escolhe-se a melhor solução.

Conclui-se com os resultados obtidos que, para a aplicação de um software de obtenção de rotas de recolha para o leite, no sistema informático do BLH da Maternidade Alfredo da Costa, seria melhor a procura de soluções pelo método heurístico a partir de mais de 20 postos de recolha, devido a diferenças não muito significativa dos valores das soluções e tempo computacional da heurística reduzido.

Palavras-chave: Banco de Leite Humano; *Vehicle Routing Problem*; Programação linear inteira mista; heurísticas construtivas; Heurísticas de pesquisa local.

Abstract

A Human Milk Bank (HMB) is an institution that collects human milk donations, processes and gives the milk to needy newborns and it is responsible for all the logistics involved in this process.

In Portugal, there is only one HMB currently, with a small number of donations due to the lack of funding in the health sector.

Human milk is a precious good and subject to degradation. Therefore, it requires a specialized transport subject to very specific regulations. After the donors extract the milk, in their homes, it must be frozen and remain like that until being processed in the HMB. Therefore, the transport should be done carefully so as not to thaw the milk, which translates into a reduced time window to perform the transportation.

This thesis aims to simulate and help Portuguese HMB to achieve a better reality, with a higher level of donations so it can help more babies and show what would be the necessary adjustments to minimize the cost of the collection process of this good. In this sense, instances were generated to simulate a possible reality, based on what happens in other countries predicting the same future in this bank.

The problem of milk transport (collection) is a *Vehicle Routing Problem* with capacity constraints and additional restrictions of travel time. In its resolution two methods were used. It was used the mathematical model in mixed integer linear programming and a heuristic. The heuristic used is divided in two phases: the creation of clusters first using the sweep method, followed by the creation of routes. The routes were created by an adaptation of cheapest insertion cost method, ending the process with a *2-optimal* improvement method. In order to obtain the best possible solution, the heuristic performs several iterations and chooses the best solution.

We may conclude, based on the results obtained, that for the application of a software that obtains the collection routes for the milk, in the computer system of the HMB in Maternidade Alfredo da Costa, it would be better to search for solutions by the heuristic method for over than 20 collection points, due to the not very significant differences in the solution's values and the reduced computer times of the heuristic.

Keywords: Human Milk Bank; *Vehicle Routing Problem*; Mixed integer linear programming; Constructive heuristics; Local search heuristics.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	V
Abstract	VII
Índice.....	IX
Lista de figuras	XI
Lista de tabelas	XIII
Introdução.....	1
Bancos de Leite Humano (BLH).....	3
2.1 Funcionamento de um Banco de Leite Humano	5
2.1.1 Divulgação e sensibilização	5
2.1.2 Seleção das dadoras.....	6
2.1.3 Entrega do material necessário na casa das dadoras.....	7
2.1.4 Extração do Leite e seu armazenamento (no domicilio da dadora).....	7
2.1.5 Recolha dos frascos na casa das dadoras.....	8
2.1.6 Transporte para os Bancos de Leite Humano.....	8
2.1.7 Controlo de Qualidade e tratamento do leite.....	9
2.1.8. Alimentar os grandes prematuros ou doentes nas UCIN.....	9
2.2 A realidade mundial dos Bancos de Leite Humanos.....	10
2.2.1 Realidade Brasileira	10
2.2.2 Realidade Europeia.....	11
2.2.3 Realidade portuguesa	12
Simulação da expansão do BLH da MAC.....	17
3.1.1 Número de locais de recolha e suas localizações	18
3.1.2 Periodicidade da recolha.....	19
3.1.3 Quantidade de frascos a recolher em cada posto.....	19
3.1.4 O transporte	21
3.1.5 Tempo de viagem e tempo necessário à recolha (tempo de serviço)	22
Vehicle Routing Problem (VRP).....	23
4.1 Revisão da literatura.....	25
4.1.1 Métodos de Resolução - Algoritmos exatos.....	25

4.1.2 Métodos de Resolução - Heurísticas	26
4.2 Vehicle Routing Problem da rede de recolha de frascos de leite para a MAC.....	27
4.2.1 Modelo em Programação Linear Inteira Mista (PLIM)	28
4.2.3 Heurística	30
Resultados Computacionais	39
5.1.1 Exemplo	41
5.2 Resultados obtidos.....	43
5.2.1 Resultados obtidos para o exemplo	43
5.2.2 Resultados Globais	44
Conclusão	51
Bibliografia.....	53
Anexos.....	55
Anexo 1	55
Anexo 2	57
Anexo 3	59
Anexo 4	59
Anexo 5	61
Anexo 6	63

Lista de figuras

Figura 2.1 - Esquema do processo de funcionamento de um BLH.	5
Figura 2.3 – Gráfico da quantidade de Dadoras e Recetores anualmente registadas no Brasil desde 2006.	10
Figura 2.2 – Gráfico da quantidade de litros leite doado e distribuído anualmente no Brasil desde 2006.	10
Figura 2.4 – Número de Bancos de Leite Humano ativos e planeados na Europa (associados na EMBA).	12
Figura 2.5 – Volume de litros de Leite Doado para o BLH da MAC anualmente.	13
Figura 2.6 - Quantidade de dadoras portuguesas registadas anualmente.	13
Figura 3.1– Percentagem de volume de frascos doados, caso tivessem ocorrido apenas doações com frascos de 250 ml.....	21
Figura 4.1– Ilustração do 2-opt e do Or-exchange. Os arcos removidos/inseridos estão indicados com linhas picotadas/negrito.	27
Figura 4.2 - Fluxograma da adaptação do método de inserção de menor custo.....	33
Figura 4.3 - Rota 1.....	34
Figura 4.4 - Rota 2.....	34
Figura 4.5 - Rota 3.....	34
Figura 4.6 - Rota 4.....	34
Figura 4.7 - Rota 5.....	34
Figura 4.8 - Rota 6.....	34
Figura 4.9 - Rota 7.....	35
Figura 4.10 – Rota 8.....	35
Figura 4.11 - Rota 9.....	35
Figura 4.12 - Fluxograma da adaptação do método de melhoramento 2-ótimal.....	36
Figura 4.13 – Rota 10.....	37
Figura 4.14 – Rota 11.....	37
Figura 4.15 – Rota 12.....	37
Figura 5.1 - Mapa da localização dos Postos de recolha e MAC do exemplo.	42
Figura 5.2 - Rotas de recolha obtidas considerando o modelo PLIM para o exemplo.....	44

Figura 5.3 - Rotas de recolha obtidas pela heurística para o exemplo.	44
--	----

Lista de tabelas

Tabela 5.1 - Resumo de Input de dados das instâncias geradas.	40
Tabela 5.2 - Centros correspondentes ao exemplo.	41
Tabela 5.3 - Resultados obtidos para cada instância.	45
Tabela 5.4 -Resultado médios obtidos para o valor ótimo e valores dados pela heurística pré e pós melhoramento.	46
Tabela 5.5 - Tempo computacional CPU.	48
Tabela 5.6 - Tempo de CPU dos programas por categoria.....	48
Tabela 5.7 – Número de frascos a recolher em média por categoria das instâncias.....	49
Tabela 5.8 – Tempo de médio viagem e distância média das instâncias de cada categoria.	50

Capítulo 1

Introdução

O nascimento de um ser humano é um dos momentos mais importantes da sua vida. As primeiras horas, dias e meses são essenciais para ditar o seu futuro. No início da vida, as necessidades básicas do ser humano adquirem uma maior importância, especialmente em recém-nascidos prematuros, doentes ou fragilizados. Uma dessas necessidades é a alimentação.

O leite humano é o melhor alimento a que qualquer criança deverá ter acesso. Desde o nascimento à infância a alimentação por leite materno é muito importante no combate e prevenção de doenças, trazendo também um vasto leque de benefícios. O leite materno é assim dos bens mais essenciais ao crescimento e saúde de um bebé.

No entanto, nem todas as crianças têm acesso ao leite da própria mãe, devido à incapacidade de criar leite, por uma doença que ela tenha ou a sua morte. Há muito tempo que é necessário combater este problema. Antigamente, recorria-se a outras mães que amamentavam os bebés necessitados, mas com a evolução da tecnologia no ramo alimentar foram criadas fórmulas artificiais de leite. Contudo, descobertas científicas revelaram que nenhum destes métodos será o mais seguro e benéfico para a alimentação de um bebé. A doação do leite sem nenhum rastreio prévio traz imensos riscos para a saúde do recetor e as fórmulas artificiais ficam aquém dos benefícios do leite humano. Sendo assim, foram criadas instituições para se resolver este problema, recebendo doações de mulheres saudáveis a amamentar. O leite doado é testado de modo a evitar doenças ou problemas, é processado e posteriormente administrado a bebés institucionalizados em maternidades.

Estas instituições têm o nome de Banco de Leite Humano (BLH), e são responsáveis por todo o processo de selecionar as dadoras, recolher o leite e processar o mesmo. Assim, na impossibilidade de alimentar um bebé internado com leite materno da própria mãe, por ser insuficiente ou inexistente, as Unidades de Cuidados Intensivos Neonatais (UCIN) recorrem a um BLH.

Em todo o mundo já existe uma vasta rede de BLH, mas ainda existem países com poucos ou mesmo nenhum. Em Portugal, existe apenas um banco de leite, situado no Centro Hospitalar de Lisboa Central Pólo da Maternidade Dr. Alfredo da Costa (MAC) onde infelizmente não é possível aceitar todas as mães interessadas em doar leite. Devido a limitações financeiras e não só, apesar de, no passado, já terem registado 17 dadoras simultaneamente, atualmente o banco apenas tem capacidade para 6 dadoras. Os problemas de falta de fundos do BLH português podem ser ultrapassados se forem utilizadas alternativas ao financiamento do estado e à maneira de realizar os processos. No entanto, existe tendência para o aumento do número de doações acolhidas. Assim, será importante que exista um processo de recolha mais eficiente e adequado no caso de existir uma expansão do atual Banco de Leite Humano.

Nesta dissertação apresenta-se uma simulação que pretende ajudar o BLH português no caso de uma maior afluência, implementando um método que torna mais eficiente a recolha dos frascos de leite. Um aumento futuro de dadoras e expansão do BLH implicaria um reajustamento no processo de recolha

dos frascos de leite nas localidades de recolha, para que seja efetuada de uma forma eficiente. Atualmente devido ao escasso número de dadoras a recolha é efetuada diretamente no domicílio das dadoras. Numa perspetiva de expansão do BLH teria que se criar locais adequados onde as dadoras se deslocariam para doar o leite. Uma hipótese, considerada nesta dissertação, é utilizar os Centros de Saúde na área de residência das dadoras como postos de recolha. O leite será armazenado nestes serviços de acordo com todas as normas que garantam uma boa conservação do leite. Posteriormente o leite será recolhido e transportado para o BLH da MAC. Resulta, deste modo, um problema de determinação de rotas (Vehicle Routing Problem - VRP) com uma restrição adicional de tempo máximo de percurso devido às características específicas do bem a transportar.

Foram criadas várias instâncias, correspondendo a diversos cenários possíveis, geradas a partir do histórico português de doações e de dados relativos a outras redes de bancos de leite humano. A resolução do problema será efetuada de duas maneiras: usando o modelo matemático em programação linear inteira mista, e uma heurística constituída por uma fase construtiva a que se segue uma fase de melhoramento local. Na fase construtiva define-se em primeiro lugar Clusters de clientes usando o método *sweep* e depois resolve-se para cada Cluster o problema de caixeiro viajante resultante usando a heurística adaptada de inserção de menor custo. Segue-se uma fase de melhoramento onde se utiliza o algoritmo *2-óptimal*.

No capítulo 2 apresenta-se resumidamente o funcionamento de um Banco de Leite Humano e a realidade portuguesa, brasileira e europeia relativa a este assunto. No terceiro capítulo apresenta-se uma simulação do processo de recolha para o caso de uma expansão do BLH da MAC, as adaptações feitas ao processo atual, e a explicação da geração dos valores necessários. No quarto capítulo encontra-se o problema da recolha dos frascos de leite humano, os métodos escolhidos para a sua resolução, a formulação do modelo matemático e a explicação da heurística. No penúltimo capítulo faz-se a apresentação e análise dos resultados obtidos. No sexto, e último, capítulo apresentam-se as conclusões e as perspetivas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Bancos de Leite Humano (BLH)

Amamentar é a melhor forma de alimentar e proteger os bebês. Como foi dito pela UNICEF “o leite materno é o melhor alimento que um bebê pode ter” [33], com benefícios incomparáveis a qualquer outro método de alimentação devido às suas propriedades imunológicas e nutricionais. No entanto é um recurso escasso e precioso a que, infelizmente nem todos os bebês e recém-nascidos têm acesso. Todas as crianças precisam de ter uma boa alimentação, especialmente os bebês doentes ou muito prematuros que se encontram internados em Unidades de Neonatologia.

A falta de leite materno é um problema que pode ter várias causas: a morte, uma doença ou mesmo algum problema de ansiedade de uma mãe podem impedir a criação de leite saudável em quantidade suficiente para o seu bebê [10]. Uma maneira de contornar este problema é recorrer a leite materno doado a fim de alimentar crianças de outras mães.

No antigo Egito surgiram as chamadas amas-de-leite, isto é, mulheres que amamentavam e cuidavam dos filhos de mães de classe social mais elevada ([29] e [30]). Esta prática, de doação de leite já é antiga, contudo se a doadora não fosse uma mulher saudável e não tivesse leite de boa qualidade poderia causar complicações ao recém-nascido, podendo em casos graves levar à morte do infante [12].

Com a evolução da ciência, para resolver o problema de falta de leite materno, foram criadas fórmulas artificiais que simulam este tipo de leite. Hoje em dia é comum a utilização de leite artificial para bebês saudáveis por opção ou por falta de leite da própria mãe. No entanto, especialmente em bebês fragilizados, por serem prematuros ou doentes, essa não é a melhor opção [11].

O leite materno doado é uma alternativa segura, se for submetido a um processo de controlo de qualidade através da seleção de mães saudáveis, análises ao leite e pasteurização do mesmo. Este é um facto já provado e subscrito pelas maiores organizações mundiais de saúde, tais como a Organização Mundial de Saúde (OMS) e a UNICEF [12].

Assim, nasce a necessidade de existir um local que organize todo o processo das doações do leite materno, para os bebês necessitados incapazes de receber leite da própria mãe. Nasceram, deste modo, os Bancos de Leite Humano onde se processa toda a logística relacionada com esta questão. São responsáveis pela seleção, recolha, tratamento, armazenamento e distribuição de todo o leite humano doado por mães saudáveis de forma voluntária.

Todo este processo não tem fins lucrativos, sendo o seu objetivo melhorar a qualidade de vida dos bebês, ajudar a proteger e recuperar de doenças, ou seja, tudo em prol da saúde do bebê. O leite é doado por mães ativas que foram sensibilizadas e se mostraram interessadas em participar neste processo tendo passado por uma pré-seleção. As dadoras não recebem qualquer compensação em troca da doação.

O leite é administrado como um medicamento e também deverá ser tratado como tal. É um recurso valioso, portanto é necessário ter em atenção a possibilidade de degradação e depreciação. Exige-se assim muitos cuidados a ter no seu manuseamento. Todo o processo está submetido a normas específicas utilizadas nos Bancos de Leite por todo o mundo. Desde a forma de extração, ao armazenamento, ao transporte, existem regras para minimizar possíveis perdas de qualidade do leite. A temperatura, por exemplo, é um fator muito importante neste processo especialmente, no armazenamento e transporte. Caso exista alguma incongruência entre as regras e a realidade, o leite poderá tornar-se prejudicial para o bebé não sendo então administrado, prosseguindo-se à sua destruição.

As mulheres dadoras e os familiares dos bebés recetores têm de ter conhecimento de todo o processo efetuado e dar o seu consentimento esclarecido. Só assim a maternidade e UCIN poderá utilizar livremente o leite sem qualquer troca monetária ou administrar o leite humano já pasteurizado.

Apesar do leite humano ser tão fundamental, neste momento, em Portugal, apenas existe um banco de leite situado na Maternidade Dr. Alfredo da Costa (MAC). Recebe doações de leite de mães moradoras na área da Grande Lisboa. No entanto está previsto a abertura de um novo BLH localizado no Norte.

2.1 Funcionamento de um Banco de Leite Humano

O processo de funcionamento de um BLH, é composto por várias etapas, desde a divulgação e sensibilização de possíveis dadoras até à administração do leite a bebés necessitados. Como foi dito anteriormente o processo está submetido a normas específicas.

Em seguida apresenta-se um esquema resumo do processo:

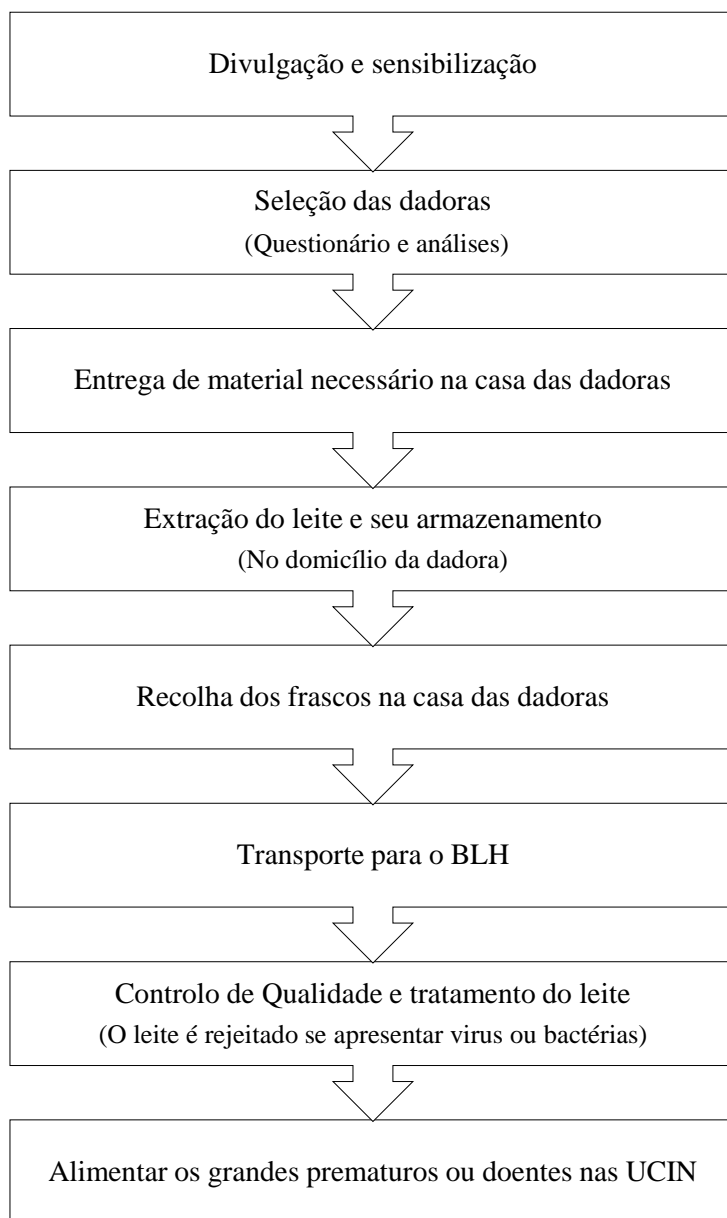


Figura 2.1 - Esquema do processo de funcionamento de um BLH.

Em cada país, podem existir diferentes métodos de armazenamento, tratamento do leite, ou prescrição do leite, contudo existem alguns pontos comuns a todos os BLH.

2.1.1 Divulgação e sensibilização

A divulgação da existência de Bancos de Leite Humano tem por objetivo aumentar o número de doações e obter financiamentos. Esta é uma etapa importante para divulgar os benefícios do leite

materno doado, adquirir mais dadoras e eliminar os receios que os pais de recém-nascidos recetores possam ter. É muito importante que a campanha de divulgação seja apelativa, consciencializando a população para os benefícios do leite materno.

2.1.2 Seleção das dadoras

Para assegurar a qualidade do leite é realizado um processo de seleção das futuras dadoras. Às mães que se voluntariam a doar o seu leite é previamente realizado um questionário confidencial com o intuito de averiguar se reúnem as condições necessárias para serem dadoras. Não são importantes as condições e o local do parto (é indiferente se ocorreu num hospital público ou privado). A dadora, apenas, deverá ser uma mulher saudável a amamentar, com leite excedente, sem que a doação prejudique a amamentação do próprio filho. As condições para ser uma dadora de leite são ([10], [11] e [34]):

- Amamentar unicamente o seu próprio filho de modo exclusivo, apercebendo-se que exista excedente de leite, mesmo se este for ligeiro;
- O nascimento do filho ter ocorrido há menos de 4 meses;
- Ser saudável; sem hábitos prejudiciais tais como fumar, beber álcool ou bebidas com alto teor de cafeína (equivalente a mais de 3 cafés por dia), consumir drogas sem receita médica, consumir medicamentos regularmente (incluindo produtos de ervanária), ou outros comportamentos de risco;
- Nunca ter tido um teste positivo para HIV¹ 1 ou 2, Hepatite B ou C, HTLV² I ou II ou Sífilis³;
- Não ter recebido nenhuma transfusão de sangue desde 1980;
- Ter domicílio com boas condições higiénicas e “acesso fácil” a um congelador;
- Aceitar ser submetida a análises de sangue periodicamente;
- Aceitar as condições e regras do BLH.

Caso preencham todos os critérios referidos são realizadas análise de sangue. Isto é essencial para despistar infeções que possam ser transmitidas através do leite e para assegurar a qualidade do leite e segurança do bebé recetor. Sendo que podem ser excluídas do sistema a qualquer momento caso apresentem algum problema.

Independentemente de possuir muito ou pouco excesso de leite será sempre positivo tentar doar o seu excesso. Cada mãe doa o que pode consoante o que tem, dado que não existe uma quantidade certa exigida a cada dadora. O leite humano é sempre valioso e os recetores geralmente são alimentados com pequenas quantidades por dia [10], já que são prematuros e muitos deles têm um peso extremamente baixo.

Alguns fatores que influenciam o excesso de leite são a diferença na quantidade que cada mulher produz; a variação da quantidade ingerida por cada filho; bem como a fase de amamentação em que este se encontra (pois se já se encontra na fase final (desmame) há menor produção de leite). No entanto existem exceções. Há mulheres que possuem muito mais leite do que o normal e durante mais tempo, outras não têm excesso de leite ou é muito pouco. Não é fácil apurar o que será uma boa doadora, dado que, se se proceder a uma extração constante do leite existe a possibilidade de se aumentar as quantidades.

¹ HIV - Vírus da Imunodeficiência Humana

² HTLV - Vírus Linfotrópico da célula T humana

³ Existe risco de transmissão por amamentação no caso destas doenças.

Para o BLH a dadora ideal seria uma mãe que iniciasse a doação 2 semanas depois de já estar a amamentar e com um excesso de mais de 130ml por dia, este limite tem por base todos os custos associados ao processo para que haja viabilidade na doação. Numa doação comum uma mulher irá extrair cerca de 10 litros de excesso de leite na totalidade.⁴ Ainda que existam dadoras capazes de ultrapassar exorbitantemente esse número, por exemplo existem grandes dadoras que têm excesso de leite durante 6 a 9 meses e durante um ano podem doar cerca de 300 a 400 litros, o responsável pelo BLH português considera que uma boa dadora é uma mulher que já teve algum filho anteriormente que amamentou e tem noção que o seu corpo produz excesso de leite.

2.1.3 Entrega do material necessário na casa das dadoras

Após a seleção, as dadoras são informadas de todo o processo, é também combinada a primeira marcação para a recolha do leite e procede-se à entrega, na casa da dadora, do equipamento necessário para a extração do leite. Nomeadamente uma bomba de extração de leite elétrica, recipientes específicos (que minimizam a contaminação com os químicos dos plásticos) e respetivas etiquetas necessárias à rotulação dos frascos.

Os frascos utilizados pela MAC são frascos previamente esterilizados que por motivos de segurança só podem ser utilizados até 10 vezes, sendo que após a décima utilização são destruídos. Estes recipientes são os únicos que deverão ser usados para guardar o leite e são distribuídos nas seguintes quantidades e dimensões:

- 10 a 12 frascos de 130 ml
- 5 a 6 frascos de 250 ml
- Combinação de frascos de 130 ml e 250 ml

Existem também sacos específicos (aceites nas doações únicas), embora estes não garantem a mesma segurança como os frascos.

Às dadoras é dada a informação necessária para que o processo de extração de leite e posterior congelamento se processe de forma a garantir a melhor qualidade do leite.

2.1.4 Extração do Leite e seu armazenamento (no domicílio da dadora)

O leite após a extração deve ser imediatamente refrigerado e congelado [34], mantendo-se assim até chegar ao BLH. O leite de várias extrações pode ser extraído para o mesmo frasco (até 24h) até este se encontrar cheio, deixando um espaço com ar (cerca de 2 cm no topo de cada frasco a fim de não rebentarem quando no congelador).

No congelador o leite deve ser resguardado do contacto com outras substâncias utilizando uma caixa ou um saco de plástico. Caso se utilize um frigorífico o leite deve ser mantido na parte inferior e de trás a fim de manter a temperatura mais fria [34].

O tempo que o leite poderá permanecer na casa da dadora varia com o tipo de eletrodoméstico disponível seja este um frigorífico, uma arca horizontal ou uma arca vertical. Uma vez que as temperaturas e a variação de temperatura são um fator determinante para a boa conservação e higienização do leite. Num congelador convencional as temperaturas variam entre -15°C a -18°C, para estas temperaturas o leite pode ficar na casa da dadora até 1 mês (de preferência 3 semanas). No entanto

⁴ Informações fornecidas pelo coordenados do BLH da MAC.

poderá estar 2 a 3 meses até ser recolhido se permanecer numa arca horizontal com temperaturas de -25°C.⁵

É de extrema importância que exista um controlo da temperatura, pois é necessário que esta não se altere excessivamente. Portanto, recomenda-se que só se abra o eletrodoméstico apenas quando é extremamente necessário. São até verificadas as condições de cada dadora antes de começar o processo, e caso seja necessário é possível fazer um controlo mais rigoroso das variações de temperatura deixando um *logger* (cedido pelo BLH) no eletrodoméstico da dadora, isto é, um termómetro com USB que se pode programar para registar a temperatura a que o leite esteve sujeito. No caso de o leite sofrer grandes variações de temperatura ou não sejam utilizados os recipientes devidos o leite é destruído.

2.1.5 Recolha dos frascos na casa das dadoras

A maneira mais comum de um BLH receber as doações é por deslocação aos domicílios das dadoras. A recolha dos frascos na casa das dadoras é frequentemente rápida, as dadoras procedem à entrega dos frascos cheios e recebem novos frascos para a próxima doação, caso se aplique. Normalmente é realizada por profissionais especializados, equipados com carrinhas refrigeradas, ou carros com geleiras elétricas ou normais.

Existem outras opções para admitir as doações, tais como o envio para o BLH, por transportadoras em condições adequadas (de frio), ou a entrega pelas próprias dadoras. Contudo, nestes casos não existe um controlo adequado, sendo que já aconteceram situações em que o leite chegou descongelado impossibilitando a sua utilização.

2.1.6 Transporte para os Bancos de Leite Humano

O fator mais importante para o transporte deste bem é a capacidade de manter a refrigeração. O transporte de leite para um BLH é efetuado de forma específica para que sejam mantidas as qualidades do leite.

Independente da forma de transporte, o leite terá de chegar a uma temperatura de -5°/-6 °C ou menos, pois caso sejam ultrapassados esses valores começará a descongelar. A qualidade na conservação deverá ser preservada sendo importantíssimo que não sofra grandes oscilações na temperatura. Existe assim uma restrição de tempo de viagem que está relacionado diretamente com a conservação da temperatura dos frascos de leite no transporte. Se o transporte for feito numa arca elétrica a perda de temperatura é muito reduzida e conseguir-se-á ficar em trânsito durante muito mais tempo.

No entanto, a maneira mais comum e utilizada pelo BLH Português é a utilização de uma caixa exotérmica rígida que em média a cada hora tem um aumento de temperatura de 2°C. Afirma-se não ser aconselhável que o leite ande no transporte mais de 8 horas embora na realidade esse tempo seja variável [34]. No caso mais comum, onde o leite cru ficou armazenado (no domicílio das dadoras) a -18°C, há na realidade uma janela de cerca de 6 horas até chegar ao seu BLH.

Para além das condições físicas de transporte a janela de tempo é igualmente influenciada pelas condições atmosféricas, estações do ano e localização regional. Se o BLH se encontrar num sítio de muito calor existe a possibilidade de o leite descongelar facilmente. Portanto, num clima mais quente ou no Verão as condições e tempos de transporte terão de se adequar para uma janela de tempo em trânsito inferior.

⁵ Informação cedida pelo coordenador do BLH português.

Idealmente o banco possuiria uma carrinha refrigerada, em que as situações de possibilidade de perda de qualidade seriam reduzidas, contudo o custo deste investimento seria muito elevado e dado que existem outras soluções tornar-se-ia pouco eficiente. A melhor maneira de contornar este problema é a utilização de geleiras rígidas que existem em várias dimensões e capacidades, tornando o transporte mais económico.

A nível da periodicidade, em Portugal, o transporte do domicílio das dadoras para a maternidade é geralmente efetuado de 15 em 15 dias. A data da visita é combinada na visita anterior na tentativa de respeitar esta janela de tempo. Normalmente as doações são consistentes e sistemáticas durante um período de tempo, no entanto existe a possibilidade de doar o leite todo só de uma vez, o que apesar de diminuir o custo de transporte pode levantar outros problemas relacionados com a qualidade do leite (já que não existe um controlo rigoroso).

2.1.7 Controlo de Qualidade e tratamento do leite

Efetuada a recolha e transporte do leite da casa das dadoras, para o respetivo banco de leite, este é submetido a um processo de controlo de qualidade através de análises e é pasteurizado. Um controlo bacteriano é realizado antes e depois da pasteurização ([11] e [34]).

O leite pré-pasteurização é chamado de leite cru. O processo de pasteurização é um método de assegurar a qualidade do leite doado. Consiste num tratamento térmico, onde o leite é exposto a uma temperatura de 62.5°C durante meia hora [34]. O objetivo deste procedimento é matar vírus e bactérias. Em Portugal este processo é automatizado, através de um aparelho adequado, mas poderá também ser feito “à mão” como noutros países, tal como, por exemplo, no Brasil⁶.

O controlo de qualidade consiste em retirar uma pequena amostra e submetê-la a uma análise, sem químicos, para obter os resultados da composição do leite. Nomeadamente o teor de gordura, proteína, lactose, valor energético e quantidade de matéria seca. Se existir algum resultado das análises fora dos limites normais o leite é rejeitado e não chegará a alimentar nenhum bebé ou recém-nascido ([11] e [15]).

2.1.8. Alimentar os grandes prematuros ou doentes nas UCIN

Feita a pasteurização do leite este é armazenado até ser administrado a um recém-nascido. A escassez deste recurso leva a que seja apenas administrado por prescrição médica.

Devido à escassez deste bem em Portugal, os recetores do leite humano doado são apenas bebés doentes ou prematuros, especialmente os chamados grandes prematuros, isto é, prematuros de baixo peso, portanto num estado grave e fragilizado. Assim, a sua alimentação poderá significar a diferença entre a vida e a morte para estes bebés. Como foi afirmado anteriormente atua tal como um medicamento, com benefícios que se podem estender ao resto das suas vidas. Outros benefícios da utilização deste leite são a diminuição do tempo até o bebé poder ingerir a alimentação exclusivamente por via oral, ser melhor tolerado pelo estômago e intestinos imaturos e ter um efeito de proteção contra infeções intestinais e sanguíneas [34]. Diminui até 80 vezes o risco de infeções intestinais (e frequentemente extração de parte do intestino). Deste modo conduz globalmente a uma melhor nutrição para o recém-nascido que se prolonga pelo crescimento e a benefícios a curto e longo prazo.

⁶ Informação cedida pelo coordenador do BLH da MAC.

2.2 A realidade mundial dos Bancos de Leite Humanos

Nesta secção irá dar-se a conhecer um pouco mais da realidade atual dos Bancos de Leite Humano. A nível mundial e continental já existem várias associações específicas para a ligação entre as redes de BLH nacionais. Por todo o mundo já existem mais de 35 países pertencentes á International Milk Banking Initiative (IMBI), com programas de BLH.

2.2.1 Realidade Brasileira

O Brasil é presentemente o país com a maior rede de Bancos de Leite do mundo. Abriu o primeiro BLH em 1943, e apesar de este não ter sido pioneiro teve um enorme crescimento e em 2015 contava com 218 Bancos de Leite Humano e 161 postos de recolha. Estes postos de recolha são locais onde as mulheres podem extrair o leite ou entregar o seu leite, sendo este armazenado e transportado para um BLH posteriormente; não se realizando, nestes, nenhum tipo de tratamento ou administração a algum bebé [14].

A Rede Brasileira De Bancos De Leite Humano é assim a maior rede nacional do mundo. Contou com um grande sucesso na divulgação e com uma enorme adesão que continua ainda a aumentar.

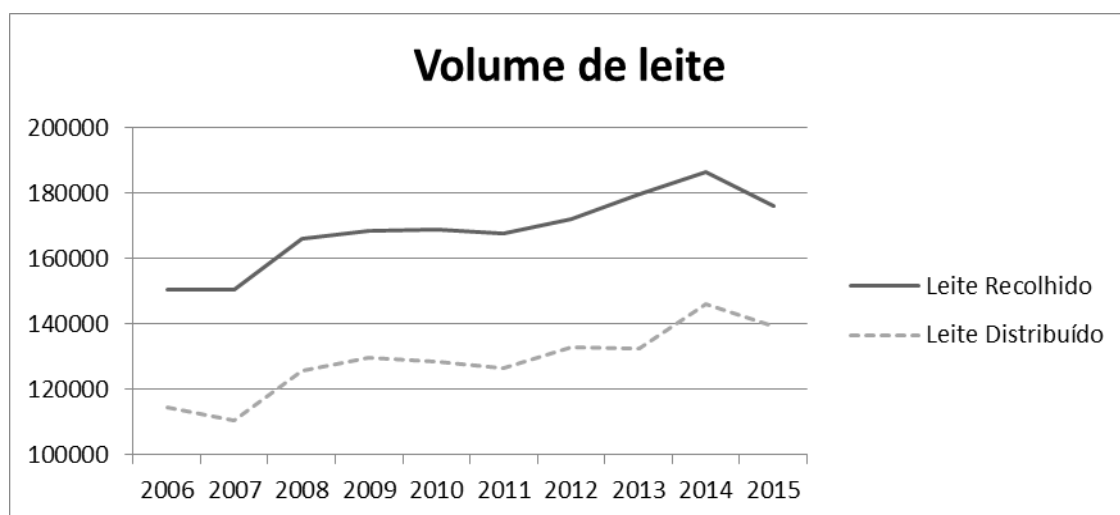


Figura 2.2 – Gráfico da quantidade de litros leite doado e distribuído anualmente no Brasil desde 2006.

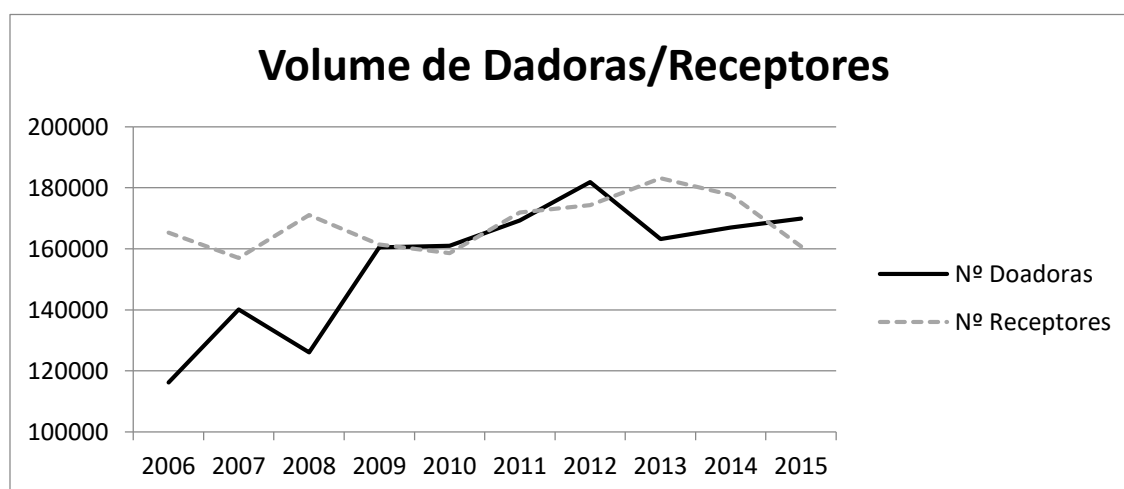


Figura 2.3 – Gráfico da quantidade de Dadoras e Recetores anualmente registadas no Brasil desde 2006.

Nas Figuras 2.2 e 2.3 encontram-se respetivamente as quantidades de leite administrado e doado bem como o número de dadoras e bebés recetores nos últimos anos no Brasil. A partir dos dados estatísticos da rede brasileira [24], podemos observar que o número de dadoras, o volume de leite doado e consequentemente o distribuído continuam a aumentar. Em média 76% do leite doado foi administrado. Foram alimentados cerca de 160 mil a 180 mil bebés nos últimos 6 anos, e desde 2009 o número de dadoras e recetoras tem vindo a aproximar-se.

Estes números elevados devem-se ao facto dos protocolos médicos para a administração do leite humano doado ser menos rígidos que em Portugal e a um processo de tratamento do leite diferente (como pasteurização não automatizada).

2.2.2 Realidade Europeia

A pioneira na criação dos bancos de leite foi a Áustria com o primeiro BLH formalmente estabelecido e documentado em 1909. Após esse momento estes bancos foram-se espalhando um pouco por todo o mundo. Apareceram assim os primeiros bancos de leite na Europa. Isto levou à criação da European Milk Bank Association (EMBA), em que o banco de Portugal está incorporado.

A EMBA em colaboração com a Human Milk Banking Association of North America (HMBANA) são as associações que ditam muitas das regras vigentes hoje em Portugal e também em muitos outros países.

Na figura seguinte encontram-se todos os 210 BLH ativos na Europa, bem como os 17 planeados para entrar em funcionamento num futuro próximo.



Figura 2.4 – Número de Bancos de Leite Humano ativos e planeados na Europa (associados na EMBA).

Como se pode observar é esperado que o número de bancos de leite continue a aumentar. Um aumento de divulgação implica um aumento de dadoras. Assim, caso haja recursos para a criação de novos bancos de leite será sempre um investimento positivo. Isto deve-se a todos os benefícios inerentes à ingestão de leite humano, já referido anteriormente, que contribuem para uma maior e mais saudável população e consequentemente uma maior taxa de natalidade e reposição das pirâmides etárias.

2.2.3 Realidade portuguesa

Hoje em dia a realidade portuguesa, no que diz respeito à obtenção de leite humano, não é muito favorável. Como referido anteriormente existe apenas um banco de leite situado no Centro Hospitalar de Lisboa Central Pólo da Maternidade Dr. Alfredo da Costa. Neste momento o leite tratado para além de ser utilizado na MAC também é transportado para o Hospital Prof. Doutor Fernando Fonseca (Amadora- Sintra)[11] e recentemente para o Hospital Dona Estefânia em Lisboa. Contudo a procura continua a aumentar, e já existem outros hospitais na área de Lisboa que procuram recorrer ao BLH para alimentar alguns dos seus prematuros, como é o caso do Hospital de Santa Maria.

O primeiro BLH de Portugal teve início em agosto de 2009 e em novembro do mesmo ano foi administrado pela primeira vez leite humano doado ao BLH da MAC. Entretanto vários tipos de dificuldades financeiras e políticas levaram a uma quebra de capacidade no suporte dos custos.

Para uma melhor noção da realidade, os gráficos seguintes mostram a evolução da quantidade de leite doado e do número de dadoras desde a abertura do BLH português até 2015.⁷

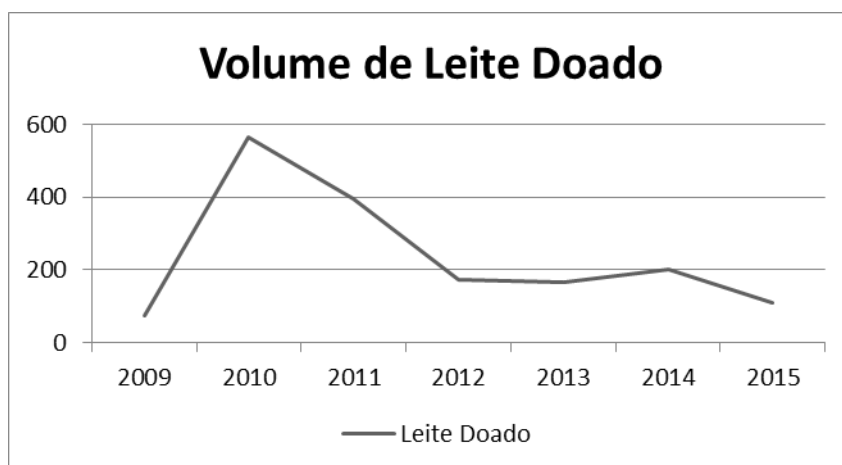


Figura 2.5 – Volume de litros de Leite Dado para o BLH da MAC anualmente.

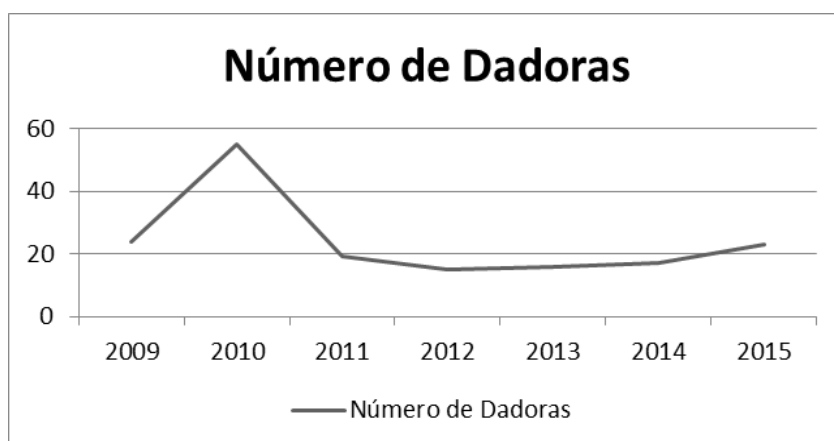


Figura 2.6 - Quantidade de dadoras portuguesas registadas anualmente.

É de notar que no ano 2015 o volume de leite apresentado na Figura 2.5 e o número de dadoras apresentados na Figura 2.6 referem-se apenas até ao mês de setembro desse ano. Relembra-se que apenas parte deste leite cru é tratado e posteriormente administrado aos prematuros sendo o resto destruído, devido a vários fatores tais como, má qualidade, más condições na extração, armazenamento e/ou transporte.

Os valores para o primeiro ano foram menores dado que o BLH da MAC teve início apenas no último trimestre de 2009. Sendo este o primeiro Banco de Leite a funcionar em Portugal a sua divulgação levou à sensibilização das mães e assim a uma grande procura para doar leite a este serviço. No ano seguinte ocorreu um pico de doações. Dado que ainda se estava numa fase experimental foram aceites

⁷ Dados fornecidos pelo coordenador do BLH da MAC.

doações fora dos parâmetros agora estipulados (como aceitar dadoras que se encontravam na fase de desmame), o que levou a elevados custos que não compensaram o investimento feito nesse tipo de dadoras. Aprendendo pelos seus erros, o banco nos anos seguintes tem vindo a aceitar apenas as dadoras que respeitam as restrições referidas anteriormente (ver seção 2.1).

O decréscimo verificado em 2011 e 2012 do volume de dadoras está ligado às notícias do possível encerramento da MAC, que mancharam a imagem da maternidade, levando a um decréscimo do nível de possíveis dadoras. No entanto, a maternidade continua a funcionar atualmente e o número de dadoras está mais estável tendo vindo até a aumentar ligeiramente. Por outro lado, os familiares de bebés recetores que estavam no início um pouco relutantes e com dúvidas em relação a este tipo de leite começaram a aceitá-lo depois de uma boa divulgação feita a enaltecer os benefícios do leite humano.

Até hoje é garantida apenas a recolha às dadoras selecionadas residentes na Grande Lisboa num raio de 30 quilómetros. Caso a residência seja fora da área referida, não existe essa possibilidade de recolha no domicílio. No entanto, se a possível dadora morar na Península de Setúbal e garantir ela própria o transporte nas condições adequadas (o leite chegar à maternidade congelado a menos de -5°C), o leite é aceite pelo banco.

Normalmente o transporte é efetuado por duas pessoas, num carro equipado com geleiras rígidas, com capacidade para cerca de 38 frascos de 250 ml. Todo o processo de recolha na casa da dadora deverá demorar 15 minutos aproximadamente.

Neste momento para o BLH português ter alguma estabilidade é necessário que semanalmente recebam 2,5L /3L de leite, embora o ideal seria alcançar 8 litros semanais de doações entre todas as dadoras. Infelizmente a atual situação económica da maternidade impede que os valores ideais se alcancem, embora não impeça que no futuro seja necessária uma maior quantidade de leite.

Os custos associados a este projeto derivam do custo do equipamento (cerca de 55 mil € incluindo o custo do pasteurizador e frigoríficos), dos custos com o pessoal e dos custos de investimento em cada dadora (custo da recolha e material necessário à extração).

Neste momento existe um serviço exterior à maternidade, executado por uma empresa especializada em produtos e serviços de aleitamento materno, responsável pelo transporte do leite, desde a casa das dadoras à maternidade, e também pelo aluguer de alguns equipamentos.

Perante as atuais dificuldades o Banco tem capacidade para 12 a 15 dadoras, a maternidade só pode recorrer ao serviço de transporte de leite para um número limitado de dadoras (2 ou 3), tendo este um preço mensal de 250€. Assim, os custos elevados do serviço de transporte impedem a existência de um maior número de dadoras ativas.

Devido aos custos elevados do serviço de transporte a MAC recorre ainda a voluntárias que procedem à recolha dos frascos na casa de outras dadoras mas mesmo deste modo não é atingido o número de dadoras desejadas. Para uma melhor contextualização, refere-se que em janeiro de 2016 existiam apenas 6 dadoras ativas a dar leite.

À falta de recursos do estado e à falta de fundos junta-se também a falta de profissionais. Estes problemas levam à incapacidade de obter maior afluência de dadoras e consequentemente maior quantidade de leite materno (apesar de a procura continuar a aumentar). De realçar que existe a possibilidade de distribuir o leite tratado a mais hospitais interessados, e que por outro lado a maternidade recebe muitos contactos de mulheres que se voluntariam a ceder o seu leite, mas fora da área abrangida pelo transporte até ao BLH.

Os equipamentos atualmente disponíveis no BLH da MAC, num espaço de 30m² são:

- Congeladores (contendo leite cru e pasteurizado)
- Câmara de fluxo de ar laminar
- Pasteurizador
- Homogeneizador de leite humano
- Analisador de leite humano
- Computador portátil, impressora de rótulos
- Frascos, etc.

A necessidade da existência destes equipamentos assim como os custos com o transporte conduz a um custo médio de 50€ por litro de leite. Em comparação, as fórmulas artificiais são cedidas aos hospitais a custo zero (uma vez que é uma forma das empresas que comercializam esses produtos fazerem publicidade).

Verifica-se assim que Portugal está longe do que poderá ser o ideal de doações de leite materno existindo ainda muito espaço para crescimento. Derivado ao estado deste BLH algo terá de ser feito para melhorar a situação. Um aumento e crescimento seria muito benéfico.

Capítulo 3

Simulação da expansão do BLH da MAC

No momento atual existe em Portugal apenas um Banco de Leite humano, na Maternidade Dr. Alfredo da Costa. Instabilidade e incerteza quanto ao futuro da maternidade, levaram após o pico inicial do número de dadoras a um decréscimo da afluência. No entanto, felizmente, a situação está a melhorar, com cada vez mais mulheres interessadas em doar. Assim, a expansão do atual Banco de Leite Humano poderá ser num futuro próximo uma realidade.

As questões financeiras associadas a uma expansão do BLH são um problema importante a resolver, porém há formas de combater essa adversidade. Uma maneira de obter um maior financiamento e consequentemente aumentar a capacidade do banco seria através de patrocinadores (sem afiliação ao estado). Seria algo mais difícil de obter, mas fazível.

As razões para investir na criação de novos BLH ou expansão dos existentes são muito variadas, tanto a nível ético como a nível monetário. A nível ético, pois, todo o ser humano tem direito a viver, sendo a vida inestimável, tendo também direito aos benefícios físicos associados ao aleitamento humano; a nível monetário porque o custo de tratamento de possíveis complicações que a criança possa ter, devido a uma doença relativa à escolha das formas industriais de alimentação em detrimento do leite materno, é muito superior ao custo de investimento⁸.

Como diz o ditado “é melhor prevenir do que remediar”, sendo a prevenção importante para evitar possíveis problemas. Apesar de os custos iniciais serem elevados, a longo prazo estes compensarão o investimento feito.

Se compararmos com a realidade brasileira observamos que Portugal, apesar de ser um país mais pequeno, pode alargar substancialmente a sua atividade caso obtivesse financiamento. A expansão do número de BLH seria benéfico até para o crescimento da população. Neste momento existem muitas possíveis dadoras interessadas, especialmente no norte, portanto a criação de um novo banco de leite nessa região seria também uma boa opção.

A necessidade de um controlo rigoroso do transporte do leite em condições adequadas, demonstra a extrema importância deste bem e cuidado que é necessário ter no seu manuseamento. Um desses cuidados especiais é o transporte dos frascos de leite para a maternidade. Assim é necessário um sistema eficiente e eficaz para a logística do leite.

Numa perspetiva, do que se pensa que será o futuro dos BLH portugueses apresenta-se uma simulação, com base nos dados atualmente disponíveis, da expansão do BLH da MAC. Haveria assim a possibilidade de acolher mais doações e distribuir mais leite para ainda mais hospitais com neonatologia, e bebés necessitados, quem sabe até a bebés não fragilizados, mas com apenas escassez de leite da própria mãe.

⁸ Informação fornecida pelo coordenador do BLH da MAC.

Pretende-se, deste modo, fazer uma simulação da expansão do BLH da MAC e posterior obtenção das rotas de recolha dos frascos doados o mais possível adaptado à realidade.

Apenas alguns dados deste novo problema são conhecidos previamente. Consequentemente alguns dados são gerados aleatoriamente. A geração é feita com base no conhecimento da realidade portuguesa e com base em dados de outros países onde existem Bancos de Leite Humano.

Para obter as rotas de recolha do Leite humano é necessário saber:

- Número de locais de recolha e suas localizações. Com base nestes dados obtêm-se as distâncias e os tempos de transporte;
- Periodicidade da recolha;
- Quantidade de frascos a recolher em cada localização;
- Capacidade do transporte e quantidade de veículos;
- Tempo de viagem e tempo necessário à recolha (tempo de serviço).

Apresenta-se a seguir o método para obtenção dos valores atribuídos a estes parâmetros nesta simulação.

3.1.1 Número de locais de recolha e suas localizações

A existência de poucas dadoras atualmente em Portugal permite que a recolha possa ser efetuada diretamente no domicílio das dadoras, através de marcação prévia, sendo assim mais cómodo para as mães. Contudo, numa situação que se pretende que venha a ser uma realidade em Portugal, isto é, se o número de dadoras aumentar esta não será uma boa opção. A imprevisibilidade da constante mudança de rotas (devido à constante alternância de dadoras) poderá levar a uma conjugação de recolha caótica e difícil, tal como, um projeto muito mais dispendioso, uma vez que os custos associados com o transporte (de combustível por exemplo) seriam enormes. Assim, a existência de um sistema de localizações fixas seria favorável para prever e controlar os custos despendidos em todo o processo.

Uma solução seria a criação de postos de recolha intermediária, como existem em outros países, tal como no Brasil. Esses postos devem ser localizados, em unidades médicas relativamente próximas das residências das dadoras, onde existiria um maior controlo do processo. Os vários postos, necessitam possuir um congelador, tendo à sua responsabilidade receber as doações, registá-las e armazená-las no congelador local.

Considera-se, nesta simulação, que os postos de recolha de leite humano estão localizados nos Centros de Saúde da Grande Lisboa. Deste modo, implementar-se-ia um sistema fixo e fiável que apresenta uma série de benefícios para o BLH, tal como uma redução de custos relacionados com o transporte de leite e um melhor controlo das condições de refrigeração; encontrando-se num ambiente hospitalar/cuidados de saúde garantir-se-ia um leite mais seguro, com menor probabilidade de ter perdido qualidade.

Do ponto de vista das dadoras, estas perderiam a grande comodidade da recolha no domicílio, no entanto os postos encontram-se sempre relativamente próximos das suas residências. Deixariam, também, de estar limitadas ao horário de entrega dos frascos, dado que já poderia ser feita a qualquer hora (dentro do horário de funcionamento do centro).

Na deslocação entre o domicílio da dadora e o posto deverá continuar a haver cuidados, de tal modo que, o leite deverá chegar congelado, portanto o BLH continuará a informar as dadoras destas precauções.

Neste momento existem 43 Centros de Saúde funcionais na Grande Lisboa, destes apenas 34 estão dentro do limite de 30 km abrangidos atualmente pelo BLH. Supôs-se, numa primeira fase, que 20 Centros de Saúde (pertencentes à Grande Lisboa sem limites de distância) decidiram aceitar participar neste processo, contudo não existe ao certo uma forma de saber quantos postos irão existir, portanto apresentar-se-á algumas possibilidades para o número de postos de saúde.

Após conhecer as localizações dos postos, suas devidas moradas e correspondentes coordenadas, através do Google Maps Distance Matrix API, foram obtidas a matriz das distâncias e a matriz de tempos, de automóvel, entre a MAC e os diversos postos e entre os vários postos.

3.1.2 Periodicidade da recolha

Atualmente em Portugal, a recolha é efetuada a cada 2 semanas. Nesta simulação, mantém-se este valor do parâmetro, assim a recolha do leite nos centros é feita também quinzenalmente. Os restantes dados serão gerados com base neste pressuposto.

Entregando o leite a um posto de recolha cada mulher poderá efetuar a sua doação as vezes que desejar e quando desejar. No entanto, é aconselhável entregar os frascos apenas quando tiver uma quantidade adequada a doar, ou seja, se desejar poderá doar todos os frascos de uma vez ou poderá fazê-lo diariamente, mas para a sua comodidade é recomendado doar vários frascos de cada vez, com leite recolhido de alguns dias.

3.1.3 Quantidade de frascos a recolher em cada posto

Cada posto poderá receber doações de várias dadoras. Conhecendo-se as localizações dos postos de recolha, é necessário saber quantos frascos vão ser recolhidos em cada um deles. Para isso é essencial saber quantas dadoras doaram a esses postos e em que quantidades. Todavia, não existe possibilidade de obter dados reais devido à imprevisibilidade desses valores, mas é possível fazer uma previsão. Assim, a quantidade aqui gerada será a quantidade total a ser recolhida no período quinzenal entre a realização das rotas, com base na estimação de valores passados.

Número de dadoras

Primeiro, é imprescindível saber quantas mulheres poderão existir, no futuro em Lisboa, num único BLH a doar ativamente, num determinado momento. Para tal, recorreu-se a dados de realidades estrangeiras, com o objetivo de estimar uma média de dadoras ativas num Banco de Leite Humano. Para fazer esse estudo, são essenciais duas informações, o número total de dadoras num ano; e o número de BLH existentes para esse mesmo ano, num determinado país.

Podemos determinar a média do número de dadoras ativas num dado país, dividindo o número de dadoras anuais pelo número de quadrimestres num ano (dado que em média uma dadora doa durante 4 meses), e posteriormente pelo número de bancos de leite ativos, nesse dado país. Realizando a média desse último valor relativo a vários países (tais como a Espanha, o Brasil e o Reino Unido, entre outros), a média de dadoras num centro a doar num dado momento alcançou, aproximadamente, 80 dadoras ativas num Banco de Leite Humano.

Se existissem 20 postos teríamos então 4 dadoras ativas por posto, mas este é um valor médio que não será fixo, tal como o número de centros, e a quantidade de frascos doados. Todos estes parâmetros podem variar. Logo, é essencial recorrer à geração de valores, com base num intervalo de média 4.

O intervalo proposto aqui foi [1 ; 7], isto é, existirá de uma a sete dadoras ativas em todos os momentos para cada Centro de Saúde. O limite inferior, de apenas uma, deriva do facto de caso não

existissem doações a rota não passaria por esse posto. O limite superior, de sete, resulta da estimação de dadoras na área de Lisboa, com base na população lisboeta e de outros países, a partir da seguinte fórmula:

$$\frac{\text{População de Lisboa}}{\text{População do país } x} \times \text{número de dadoras no país } x$$

Ou seja, calcula-se o número de dadoras em Lisboa com base na proporção de população existente e o correspondente volume de dadoras. Determinou-se que deveria existir 133 dadoras ativas, nota-se que $133 \div 20 \approx 7$. No entanto, como não será possível abranger toda a população lisboeta este valor será apenas um limite superior, de sete dadoras pelos supostos 20 Centros de Saúde.

Para cada posto considera-se que o número de dadoras segue uma distribuição uniforme em (1;7).

Quantidade de frascos doada

Após gerar o número de dadoras, em cada posto, é necessário gerar a quantidade de frascos doados por cada mulher.

Sabe-se que para o BLH, o limite mínimo ideal de doações é de 130 ml por dia; numa doação quinzenal, isto, representaria 14 frascos de 130 ml ou cerca de 7 de 250 ml. Neste caso não vamos ter em atenção a distribuição dos frascos, supomos que se a dadora produz muito excesso irá receber mais frascos de 250 ml, e vice-versa.

Com base nos dados do número de doações e volume de leite doado por cada mulher, nos anos anteriores no BLH da MAC⁹ estimou-se uma média para os frascos doados. Primeiramente calculando o volume por doação e consequentemente a média por doação (soma das quantidades doadas pela dadora divididas pelo número de doações), estimou-se que a média das doações foi aproximadamente 1822,35 ml de leite. Assim, verificou-se que, em média, as dadoras portuguesas no passado doaram, efetivamente 130 ml de leite em média por dia. E caso as doações fossem feitas estritamente para frascos de 250 ml ter-se-ia doado cerca de 7,29 frascos, o que é consistente com os valores anteriores.

No geral, as doações portuguesas possuíam uma média de frascos por doação de 11. No entanto, não se restringiram a frascos das dimensões previamente mencionadas (utilização de frascos não fornecidos pelo BLH, com capacidade inferior a 250 ml), assim sendo não é possível encontrar uma média plausível para o número de frascos doados.

Tendo em conta que existem frascos de diferentes dimensões, a média de doações totais deverá ser superior a 7 e inferior a 11. Portanto, para volume de frascos, irá ter-se em conta um intervalo com média 9 tal como [4 ; 14].

⁹ Disponibilizados pelo coordenador deste banco.

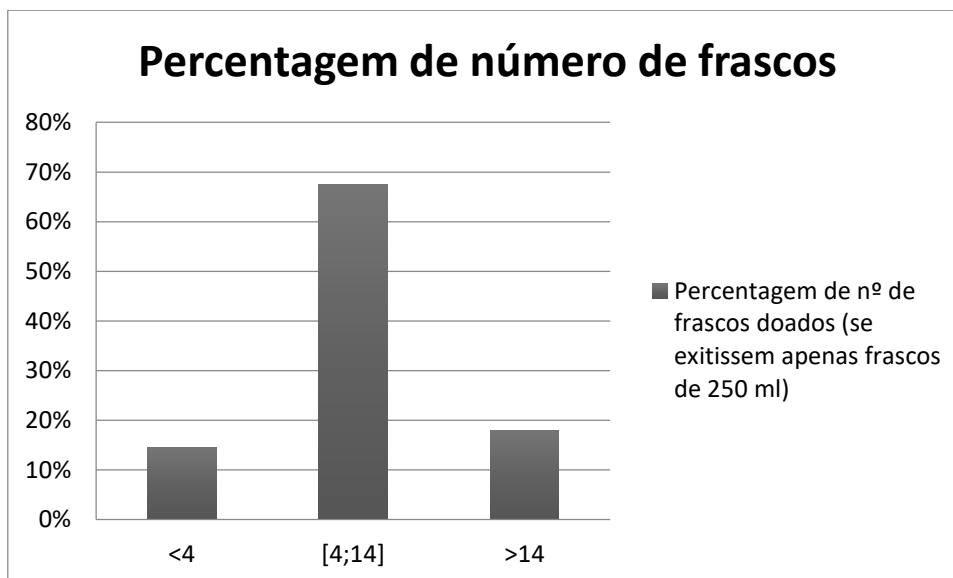


Figura 3.1– Percentagem de volume de frascos doados, caso tivessem ocorrido apenas doações com frascos de 250 ml.

Caso as doações tivessem ocorrido unicamente com frascos de 250 ml pode-se verificar, na Figura 3.1, que a maioria das mulheres ($\approx 65\%$) teria doado de 4 a 14 frascos. Note-se que ocorreram também doações que terão ultrapassado esses valores; existiram grandes dadoras e mulheres que doavam muito abaixo do limite ideal. Contudo, ambos são acontecimentos não comuns.

Assim com base em todas essas informações, o intervalo proposto para a geração de quantidade doada, foi de quatro a catorze frascos.

Combinação de ambos

Após saber o número de dadoras em cada posto e o número de frascos doados por cada uma, obteve-se o número de frascos doados em cada posto combinando esses dois. Por exemplo se um posto tem duas dadoras em que uma doa 7 e outra 9, serão recolhidos 16 frascos neste posto.

3.1.4 O transporte

As arcas (caixas exotérmicas rígidas) têm um custo acessível, são duradoras, encontram-se em vários tamanhos e um veículo pode conter várias. Supõe-se que estas continuarão a ser o método de acomodação dos frascos no transporte.

Capacidade do transporte

A capacidade dos transportes poderá ser encontrada através do número de arcas que cabem no transporte e número de frascos que cabem nas arcas, já dito anteriormente (uma única arca pode conter cerca de 38 frascos de 250 ml).

Devido à existência de frascos de 130 ml, considera-se que algumas arcas têm um tamanho mais pequeno, mas contêm o mesmo número de frascos. Deste modo, a arrumação dos frascos no transporte não será um problema e poderá ignorar-se a dimensão dos frascos.

Supondo que as rotas vão ser efetuadas por um veículo com capacidade para conter 6 arcas rígidas, a capacidade total do transporte será de 228 frascos, independentemente da sua dimensão.

Quantidade de veículos/rotas

Outra questão é saber quantas rotas/ veículos são necessárias, no mínimo, para visitar todos os postos, dado que na realidade poderá ser necessário um maior número de rotas do que previsto. O número mínimo de veículos necessário é dado pela seguinte fórmula:

$$\frac{\text{Quantidade total de frascos a recolher}}{\text{Capacidade do transporte}}$$

3.1.5 Tempo de viagem e tempo necessário à recolha (tempo de serviço)

O recomendado, pelos especialistas, é que o leite não poderá estar no transporte mais do que 6 horas. No entanto, atendendo ao facto de este tipo de transporte ser efetuado prioritariamente por voluntários, e para uma margem de segurança, que prevê os casos de muito trânsito, um clima mais quente, ou outro problema que poderá implicar uma perda de temperatura mais rápida ou um possível maior tempo de viagem do que o previsto foi implementado uma janela temporal de 4 horas. Assim, para além de existir um horário mais funcional e comum desse tipo de voluntariado, garantirmos uma maior qualidade do leite na entrega.

Adicionalmente supõe-se que o tempo gasto no serviço, ou seja, o tempo despendido em cada posto (que inclui os tempos da chegada, tempo do estacionamento, de deslocação a pé, da transferência dos frascos do congelador para as arcas e de outras tarefas necessárias) será de 15 min.

Capítulo 4

Vehicle Routing Problem (VRP)

Numa perspectiva de expansão do atual Banco de leite Humano existente na MAC pretende-se que o número de dadoras aumente. Atualmente devido ao escasso número de dadoras a recolha é efetuada diretamente no domicílio das dadoras. Com um aumento do número de dadoras esta situação torna-se muito dispendiosa pelo que o ideal será haver locais de entrega de leite humano por parte das dadoras. Estes locais poderão ser Centros de Saúde na área de residência das dadoras. O leite será armazenado nestes serviços de acordo com todas as normas que garantam uma boa conservação do leite, impedindo a sua deterioração.

A recolha do leite humano será posteriormente feita para o BLH da MAC. Pretende-se fazer a recolha de todo o leite disponível nos postos com veículos adequados, isto é, com equipamento preparado para transportar o leite nas melhores condições. Os veículos têm uma capacidade máxima disponível. Este problema é um problema de determinação de rotas considerando vários veículos (Vehicle Routing Problem).

O Vehicle Routing Problem (VRP) é um problema que consiste na “gestão de aprovisionamento de bens e serviços na distribuição de sistemas” [3], isto é, gere a distribuição de bens ou serviços, para um conjunto de clientes, partindo de um ou mais depósitos.

É um problema NP-hard (NP-difícil), o que significa que tem uma grande complexidade computacional.

Este problema apresenta muitas variantes e tem inúmeras aplicações na vida real; as condições, os objetivos e as restrições são adaptáveis a bastantes situações reais.

Neste problema considera-se um conjunto de clientes os quais têm uma procura associada, de valores positivos. Os veículos têm de realizar rotas (uma por veículo), com o objetivo de recolher ou transportar esses bens correspondentes à procura em todos os clientes minimizando os custos totais.

É assim uma generalização do Traveling Salesman Problem (TSP) - Problema de Caixeiro Viajante, problema este também NP-hard; onde a única diferença é que existe apenas uma única rota e um único veículo.

A literatura relativa a este problema é muito extensa. Existem muitos artigos relativos a aplicações reais do VRP, modelos e métodos de resolução.

Este problema foi apresentado pela primeira vez por Dantzig e Ramser em 1959. Nas últimas décadas tornou-se um dos problemas de otimização combinatória mais estudados. Dantiz e Ramser [8] apresentaram a otimização de um problema de rotas de distribuição de combustível entre um terminal e as bombas de gasolina fornecidas por esse terminal.

Nestas últimas décadas, muitos progressos foram feitos na resolução deste tipo de problemas, contudo devido à sua praticabilidade continua a ser um dos problemas mais intrigantes e ainda muito analisado. Passados alguns anos após a primeira publicação relativa a este problema apareceu a primeira heurística, (ainda muito utilizada e famosa) a heurística de Clarke and Wright, baseada num sistema de poupanças, que melhorou a resolução primária de Dantiz e Ramser. Foi Christofides (1976), que generalizou e batizou o problema como o conhecemos hoje.

Na maioria dos casos trata-se de um problema de construção de rotas para vários veículos sem se considerarem restrições adicionais. Existem, no entanto, muitas variantes a este modelo básico. Existência de uma capacidade máxima dos veículos tendo-se, neste caso o problema Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) – Problema de Rota de Veículos com restrições de Capacidade. Podem ainda considerar-se outras restrições adicionais tais como janelas temporais para os clientes, Problema de Rotas de Veículos com Janelas de Tempo (VRP with Time Windows), obrigatoriedade de visitar um conjunto de clientes antes de outros clientes, VRP with Backhauls, ou problemas em que se considera a recolha de bens em alguns pontos e a distribuição desses bens noutros pontos, VRP com Pickup and Delivery.

O VRP é um problema de otimização combinatória. O problema básico possui as seguintes características:

- Cada cliente é visitado por uma única rota, uma única vez.
- Poderá existir mais que um depósito.
- Cada rota começa e acaba num depósito.
- Cada cliente tem associada uma procura determinística, quer seja quantidade a dar ou a receber de um certo bem ou serviço, conhecida previamente, que não poderá ser dividida.
- A procura total dos clientes servidos por uma rota não pode exceder a capacidade total do veículo.
- O tamanho de cada rota não pode exceder o limite L (é comum considerar que a velocidade é constante para que as distâncias, tempos de viagem e custos sejam sinónimos).
- A cada percurso possível corresponde um custo.
- Cada veículo tem uma capacidade fixa.
- Cada encomenda usa uma porção da capacidade do veículo.
- Todas as rotas têm de satisfazer as restrições existentes.

O VRP é definido por um grafo completo (cada vértice está ligado a todos os outros com a exceção a si próprio evitando loop's), onde os vértices representam clientes ou depósitos e os arcos representam uma rede de estradas; em que a cada arco é associado o menor custo (ou distância) que é efetuada entre os dois vértices correspondentes. Consoante a simetria ou assimetria do problema, o grafo é definido por arcos indiretos ou diretos, respetivamente.

Para além de saber de que tipo de problema se trata é necessário saber se as distâncias e correspondente custos que vão ser percorridas correspondem a uma matriz simétrica, ou assimétrica. Ou seja, o problema de VRP pode ser simétrico ou assimétrico; um problema simétrico elucida normalmente distâncias euclidianas ou de longo curso, enquanto um problema assimétrico é definido por distâncias pequenas, normalmente em cidades (devido à existência de estradas com um único sentido por exemplo).

O conjunto dos veículos (frota) poderá ser heterógena ou homogénea. Caso estejamos perante o primeiro caso, existe uma variabilidade em vários parâmetros como a capacidade, o tempo máximo

de rota, os custos fixos e custos variáveis consoante a distância. Sintetizando os veículos são diferentes. No caso da homogeneidade acontece o oposto, todos os veículos são idênticos e todas as suas características iguais.

Para a resolução deste tipo de problemas, existem métodos de resolução exatos e métodos heurísticos.

4.1 Revisão da literatura

Nesta secção refere-se alguma da literatura relativa aos métodos de resolução do problema VRP.

4.1.1 Métodos de Resolução - Algoritmos exatos

Em [3] Toth e Vigo referem a importância de utilização de software baseado em técnicas de otimização para resolver casos reais de problemas de otimização de rotas de veículos. Estes autores referem que o planeamento prévio de uma rede de distribuição/recolha gera poupanças entre 5% a 20% no custo total do transporte, dado que o processo de transporte une todas as fases da produção e distribuição, e apresenta uma fatia de 10% a 20% do custo final dos bens.

Nos primórdios da resolução computacional, os problemas conseguiam ser resolvidos até encontrar solução ótima apenas para instâncias com 25 clientes [1]. Naturalmente, com a evolução neste ramo, foram sendo resolvidas instâncias maiores. No entanto, ainda é visível a dificuldade de resolução do problema.

Em 2007, Laporte, Cordeau, Savelbergh e Vigo referem a dificuldade de resolver problemas de determinação de rotas de veículos comparativamente com a resolução de problemas de caixeiro viajante, "os melhores algoritmos de CVRP raramente conseguem resolver instâncias que envolvem mais de 100 vértices, enquanto que as instâncias do TSP com centenas ou até milhares de vértices são rotineiramente resolvidas até à otimalidade" [2].

Computacionalmente a obtenção de soluções ótimas apenas é possível devido à utilização de algoritmos exatos tais como o *Branch-and-Bound* e *Branch-and-Cut* (considerado atualmente o melhor algoritmo para a obtenção de soluções exatas). Estes autores referem uma vasta literatura relativa às relaxações e obtenção de limites inferiores para o CVRP e o VRP com janelas temporais.

O algoritmo *Branch-and-Bound* resolve problemas de otimização, recorrendo a diversos tipos de limites ("*bounds*"). Nos primórdios da resolução computacional baseavam-se em relaxações combinatórias elementares, tais como Problema de Afetação, árvore de suporte de custo mínimo com restrições no grau dos vértices e relaxação do espaço de estados. Apareceram posteriormente as relaxações Lagrangianas e a introdução de desigualdades válidas, mais sofisticadas e com capacidade para resolução de problemas de maior dimensão. Existem vários tipos de estratégias de imposição de limites, como o *best-bound-first* (a ramificação é efetuada consoante o melhor limite inferior, ou seja, o menor "*bound*") e *depth-first* (o nodo escolhido para ramificar é escolhido com base na regra *last-in-first-out*). O objetivo na criação de novos algoritmos melhores é diminuir a diferença entre o limite inferior e o valor da solução ótima.

O algoritmo *Branch-and-Cut* resolve problemas específicos de programação linear, utilizando o algoritmo *Branch-and-Bound* e planos de cortes para melhorar a relaxação linear, ou seja, utiliza o mesmo método para ramificações das soluções, mas impõe cortes diminuindo o campo de procura. Remete-se para [2] onde os autores sintetizam várias abordagens a este algoritmo.

Apesar da evolução nas técnicas de obtenção de soluções para o problema de obtenção de rotas existe ainda muito espaço para a investigação nesta área.

4.1.2 Métodos de Resolução - Heurísticas

Uma heurística por definição é um método com o objetivo de encontrar uma solução para o problema (de procura de soluções), que não garante soluções ótimas, mas rapidamente encontra uma boa solução. Existem inúmeras heurísticas para a resolução do Problema de Rotas de Veículos, desde as mais clássicas, como as construtivas, heurísticas de melhoramento, métodos de otimização incompletos ou as mais complexas designadas por Meta-heurísticas.

Um exemplo de heurística construtiva é a já referida heurística de Clarke and Wright. Existem outras também muito conhecidas como o método de *sweep* ou o método de *duas fases*.

O método de Clarke and Wright é um processo simples e ainda muito utilizado baseado no conceito de poupanças. As rotas são expandidas, inserindo clientes escolhidos de acordo com a melhor poupança.

O método *sweep* definido por Gillett and Miller em 1974, é utilizado por muitos autores. Stuhikarnnarunai refere que “o algoritmo de *sweep* é um método de clustering (agrupar) clientes em grupos tal que clientes no mesmo grupo estão geograficamente próximos e podem ser servidos pelo mesmo veículo” [5]. Assim, “explora a circularidade dos clientes” [4], ou seja, imaginando que o depósito é a origem de um referencial e os clientes pontos em toda a volta desse referencial; partindo de um cliente aleatório e aumentando o ângulo polar à volta do depósito, os clientes são inseridos na rota aumentando ou diminuindo o ângulo (consoante desejar criar a rota no sentido dos ponteiros do relógio ou o inverso), com base em alguma condição de paragem e criação de uma nova rota (quer seja o tempo da rota, a distância da rota, a capacidade do veículo ou outro), até todos os clientes se encontrarem inseridos numa rota. A este processo pode seguir-se um método de melhoramento.

O método de 2 fases, como o próprio nome indica está dividido em duas fases, com a construção de um Cluster (agregado de vértices ou clientes) primeiro e a criação da rota seguidamente, ou o contrário a criação de uma única rota primeiro e depois a divisão dos Clusters. Um exemplo da primeira opção é a utilização do método *sweep*, seguido por um método de resolução de um TSP (como por exemplo o método do vizinho mais próximo ou o método de inserção de menor custo), ou apenas um método de melhoramento. No caso de uma rota ser construída primeiro, o problema será resolvido mesmo como um TSP e depois essa rota gigante será dividida em pequenas rotas.

Nas heurísticas de melhoramento, parte-se de uma solução inicial e realiza-se um processo com o objetivo de obter uma melhor solução. Hoje em dia, existe uma grande variedade de heurísticas de melhoramento onde se incluem algumas clássicas e mais utilizadas como a λ -ótimal, especificamente, 2-ótimal (2-opt), 3-ótimal (3-opt) e Or-exchange, onde o objetivo é a partir da solução inicial e fazer uma troca (*swap*), isto é, trocar λ arcos por outros λ arcos. Como apresentado no exemplo da Figura 4.1 de Vidal, Crainic, Gendreau e Prins [4].

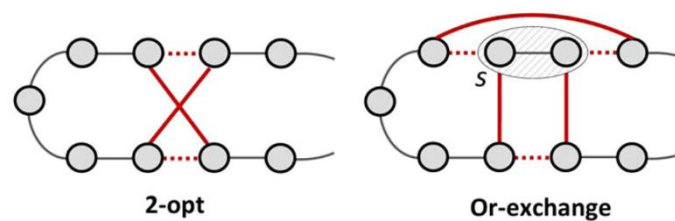


Figura 4.1— Ilustração do 2-opt e do Or-exchange. Os arcos removidos/inseridos estão indicados com linhas picotadas/negrito.

Os métodos de otimização incompletos consistem na utilização de métodos exatos tal como de *Branch-and-Bound*, mas não fazendo a pesquisa completa, ou seja, não atingindo o valor ótimos, mas sim uma solução admissível.

Meta-heurísticas são heurísticas que permitem evitar ótimos locais. Esta designação foi apresentada pela primeira vez por Glover relativo a "heurísticas que guiam outras heurísticas"[4].

Em 2013, Vidal, Gabriel, Crainic, Gendreau e Prins [4] apresentaram uma revisão bibliográfica sobre várias heurísticas para o VRP com diversos atributos. Começam por definir o que é um atributo, dizendo que “são características adicionais ou restrições que visam uma melhor noção das especificidades das aplicações da vida real”. Este campo, já foi igualmente muito estudado, devido à componente muito prática dos problemas VRP. Os Multi-Atributos do VRP (MAVRP) incluem um vasto plantel de situações, como por exemplo Multi-Depósitos, heterogeneidade dos veículos, várias viagens, Backhauls, dependência de tempo, regulações nas horas de serviço, etc. Os atributos são divididos em três classes predominantes, são eles a atribuição de clientes e rotas aos recursos (ASSIGN), as escolhas sequenciais (SEQ) e a avaliação de sequências fixas (EVAL). Em ASSIGN os atributos atribuem os recursos limitados, em SEQ os atributos são relativos à estrutura e natureza das rotas e em EVAL os atributos incluem a avaliação e verificação de restrições que são realizadas depois da rota estar escolhida.

Note-se que uma restrição de regulações das horas de serviço pertence à categoria EVAL. Nesta categoria incluem-se os “regulamentos relacionados com transporte de longa distância que impõem regras complexas para tempos de condução e pausas de condutores”.

4.2 Vehicle Routing Problem da rede de recolha de frascos de leite para a MAC

Para planear uma rede de recolha de doações de leite humano, é necessário ter em consideração vários fatores. Ter consciência do que já está planeado e posto em prática atualmente, e qual é o objetivo que queremos alcançar. No capítulo 3 apresenta-se uma simulação da expansão da rede de BLH portuguesa, na Grande Lisboa. Com base nesta perspetiva de expansão pretende-se determinar as rotas de recolha de leite garantindo a qualidade do leite doado. Tem-se, deste modo, um problema de VRP com os seguintes atributos:

- Existe um único depósito, o Banco de Leite Humano da MAC onde os bens, ou seja, os frascos de leite terão de chegar.
- Os “clientes” serão as dadoras, nomeadamente, a localização dos sítios onde se vai efetuar a recolha, ou seja, os postos de recolha.
- A “procura” corresponde à quantidade de frascos a recolher em cada Posto.

- Os veículos serão idênticos, poderá ser apenas um que realize várias rotas em diferentes dias ou períodos. Logo estamos perante uma frota homogênea.
- Será um problema de CVRP, dado que o veículo de transporte dos frascos tem um espaço limitado.
- Para além de o problema básico de CVRP deverá existir também uma restrição adicional correspondente à regra de tempo do Leite no transporte. Este será um atributo, correspondente a uma regra de horas de serviço.

Este problema foi formulado em programação linear inteira mista. Obteve-se deste modo a solução ótima para cada uma das instâncias consideradas. Desenvolveu-se também uma heurística para este problema. Nas secções seguintes apresenta-se o modelo em programação linear inteira mista e a heurística desenvolvida.

4.2.1 Modelo em Programação Linear Inteira Mista (PLIM)

O problema de determinação das rotas de recolha de leite humano formula-se em programação linear inteira mista tal como descrito abaixo.

Seja $G = (V, A)$, um grafo onde $V = \{0, 1, \dots, N\}$, em que 0 corresponde ao depósito, e de 1 a N os postos e $A = \{(i, j): i \in V, j \in V, i \neq j\}$, isto é, é o conjunto de todos os arcos, representando as ligações admissíveis.

Parâmetros:

K – Número máximo de veículos

d_i – Número de frascos a recolher no posto i , $i \in V \setminus \{0\}$

c_{ij} – Distância entre os postos i a j e entre o depósito e cada um dos postos $i, j \in V$

C_k – Capacidade do veículo k^{10} , $k=1, \dots, K$

t_{ij} – Tempo de viagem de i a j (em minutos), $i, j \in V$

s_i – Tempo de serviço no posto i (em minutos), $i \in V \setminus \{0\}$

T – Tempo total máximo correspondente à rota de cada veículo

Variáveis:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo } k \text{ visita o posto } j \text{ depois de } i \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i, j \in V, i \neq j$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se o posto } i \text{ é servido pelo veículo } k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i \in V, k = 1, \dots, K$$

$$u_{ik} : \text{Número de frascos transportados pelo veículo } k \text{ quando visita o posto } i \\ i \in V \setminus \{0\}, k = 1, \dots, K$$

¹⁰ Como se considera uma frota homogênea, veículos idênticos, a capacidade é a mesma para todos os veículos.

Modelo Matemático:

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \quad (4.1)$$

$$y_{ik} = \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ijk} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, K \quad (4.2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ijk} = \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{jik} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, K \quad (4.4)$$

para i, j, k tal que $d_i + d_j \leq C_k$

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} \geq K \quad (4.5)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + C_k x_{ijk} + (C_k - d_i - d_j) x_{jik} \leq C_k - d_j \quad \forall i, j \in V \setminus \{0\}, k = 1, \dots, K \quad (4.6)$$

$$d_i \leq u_{ik} \leq C_k \quad \forall i, k \in V \quad (4.7)$$

$$\sum_{i \in V \setminus \{0\}} \sum_{j \in V} t_{ij} x_{ijk} + \sum_{i \in V \setminus \{0\}} s_i y_{ik} \leq T \quad \forall k \in K \quad (4.8)$$

$$u_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k \in V \quad (4.9)$$

$$x_{ijk} \in \{1; 0\} \quad \forall i, j, k \in V \quad (4.10)$$

$$y_{ik} \in \{1; 0\} \quad \forall i, j, k \in V \quad (4.11)$$

A função objetivo (4.1) minimiza os custos associados ao processo de transporte. Neste caso, os custos vão ser representados pelas distâncias do percurso com menor distância entre os postos i e j , para todos os postos.

As restrições (4.2) relacionam as variáveis x_{ijk} e y_{ik} . As restrições (4.3) garantem que todo o posto é servido por um só veículo. As restrições (4.4) são restrições de conservação de fluxo. Se um veículo chega a um posto i , então visita um outro j (ou parte/chega à maternidade). A restrição (4.5) garante que se usam no mínimo K veículos. As restrições (4.6) e (4.7) definem que a capacidade dos veículos não poderá ser ultrapassada. Em (4.8) garante-se que o tempo de viagem a partir do primeiro posto não ultrapassa o tempo máximo de viagem. As restrições (4.9), (4.10) e (4.11) definem o domínio de variação das variáveis do problema.

As restrições (4.6) são as apresentadas por Desrochers e Laporte [7]. Correspondem a um melhoramento das restrições (4.12) apresentadas para o VRP por Kulkarni e Bhave. Estas restrições de eliminação de subcircuitos são uma adaptação para o VRP das restrições Miller, Tucker e Zemlin para o TSP [3].

$$u_{ik} - u_{jk} + C_k x_{ijk} \leq C_k - d_j \quad \forall i, j \in V \setminus \{0\}, k = 1, \dots, K \quad (4.12)$$

Perante uma rota homogénia onde C é a capacidade de cada veículo, dado um conjunto $S \subseteq V$, o número mínimo de veículos necessários K tem que verificar a seguinte inequação [3].

$$\frac{\sum_{i \in S} d_i}{C} \leq K \quad (4.13)$$

4.2.3 Heurística

Apresenta-se seguidamente uma heurística para o problema de determinação das rotas de recolha de leite humano. Esta heurística é constituída por uma fase construtiva a que se segue uma fase de melhoramento. Na fase construtiva utiliza-se a abordagem *Cluster-primeiro-rota-segundo*, isto é, primeiro define-se os Clusters de clientes usando o método *sweep* e depois resolve-se para cada cluster o problema de TSP resultante usando a heurística adaptada de inserção de menor custo. Segue-se uma fase de melhoramento onde se utiliza o algoritmo *2-ótimal*.

Em resumo, será usada uma heurística de duas fases, onde os clusters são determinados pelo método *sweep* e as rotas são posteriormente definidas para cada cluster resolvendo um TSP através de uma adaptação do método de inserção de menor custo. Tenta melhorar-se esta solução através de um método de melhoramento *2-ótimal*. Apresenta-se a seguir, resumidamente a heurística usada.

Algoritmo da heurística:	
1	Leitura dos dados
2	Leitura das coordenadas geográficas correspondentes às localizações dos postos
3	Transformar as coordenadas geográficas em coordenadas polares
4	Para $i=1$ até número máximo de iterações fazer
5	Criar clusters usando o método <i>sweep</i> e garantindo que cada cluster criado verifica as restrições de capacidade do veículo e de tempo máximo permitido para a rota.
6	Para cada cluster admissível <i>metodo_insercao_menor_custo()</i>
7	Para cada cluster admissível <i>melhoramento()</i>
8	Escreve a melhor solução

Nos passos 1 e 2 a Heurística começa por ler todos os parâmetros necessários à resolução do problema. Os dados são o número de centros a visitar, número mínimo de veículos, tempo máximo de viagem, capacidade dos veículos, matrizes de distância e tempos, frascos a recolher (procura), tempo de serviço. Segue-se a leitura das coordenadas geográficas dos postos de recolha.

Após a leitura dos inputs segue-se a construção dos Clusters. Como foi dito anteriormente, o método adotado é o chamado método *sweep*. Por definição um método circular de seleção dos clientes (Postos), com base na localização dos pontos em relação ao depósito (BLH), daí ser necessário as coordenadas do BLH e dos diferentes postos. O método começa num cliente aleatório e procura no sentido escolhido, os clientes a juntar à mesma rota, aumentando ou diminuindo o ângulo. Para isso é necessário, as coordenadas estarem definidas como coordenadas polares, onde a primeira variável é o raio r e a segunda o ângulo θ correspondente. As coordenadas cartesianas de cada posto apresentam-se como um (x, y) que irá então ser transformado em (r, θ) , com base num intervalo $[0^\circ; 360^\circ]$, através das fórmulas (4.14) e (4.15), correspondendo ao passo 3.

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) * \frac{180}{\pi} & \text{se } x > 0 \text{ e } y > 0 \\ 90^\circ & \text{se } x = 0 \text{ e } y > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) * \frac{180}{\pi} + 90^\circ & \text{se } x < 0 \\ 270^\circ & \text{se } x = 0 \text{ e } y < 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) * \frac{180}{\pi} & \text{se } x > 0 \text{ e } y < 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (4.15)$$

A primeira fase da heurística corresponde à construção de uma solução admissível para o problema. Primeiro obtêm-se os clusters por aplicação do método *sweep*. Num primeiro passo gera-se um valor aleatório correspondente a um posto. Seguidamente, no sentido contrário aos ponteiros do relógio efetua-se a procura dos restantes postos, ou seja, a partir do posto selecionado o ângulo vai ser aumentado. Como está definido no intervalo $[0^\circ; 360^\circ]$, o ângulo será aumentado até 360° e no caso de nem todos os postos pertencerem ainda a uma rota, inicializa-se em 0° e continua a aumentar até todos estarem cobertos por uma rota.

Um Cluster é finalizado quando é atingida uma das duas condições de paragem, ou seja, a capacidade da carrinha é ultrapassada ou o tempo da viagem a partir do primeiro posto ultrapassa a tempo máximo possível. Caso existam mais postos a inserir inicializa-se um novo cluster, até que todos os postos estejam em um dos Clusters.

Após a criação dos Clusters segue-se a segunda fase da Heurística, a criação das rotas. Os Clusters obtidos, já satisfazem a restrição de capacidade, a questão será encontrar uma melhor ordem de visita aos postos, que minimize os custos, mas não ultrapassando o tempo máximo de viagem. Assim, trata-se de obter para cada cluster a rota que minimiza os custos. Tem que se resolver, deste modo, vários problemas de determinação de rotas para o Caixeiro Viajante/Travelling Salesman Problem (TSP), com uma restrição adicional de tempo máximo. De entre os vários métodos heurísticos para o TSP escolheu-se a heurística de inserção de menor custo a qual se adaptou para este problema. Nesta heurística pretende-se dada uma rota parcial (rota que serve apenas alguns clientes) inserir um próximo cliente de modo a causar o menor impacto no custo. Assim, primeiramente escolhe-se o conjunto constituído pelos dois postos com menor distância entre si (incluindo a maternidade). Aplicando a fórmula (4.16) será escolhido o próximo posto a entrar na rota. Seja R o conjunto dos postos já inseridos na rota parcial e R' o conjunto dos postos ainda por inserir. Escolher o posto de R' que verifica

$$\min\{d_{ik} + d_{kj} - d_{ij}\} \quad \forall (i, j) \in R, k \in R' \quad (4.16)$$

Assim garante-se que será inserido o posto onde a distância (a acrescentar) de inserção seja menor, mas não se garante que o tempo total da rota obtida seja o mínimo ao fazer esta inserção. Para isso, é verificada a admissibilidade cada vez que uma localização (um posto ou a maternidade) é inserida na rota. Caso não se verifique a admissibilidade, o algoritmo tenta inserir outra (próximo a verificar condição) e caso não se verifique a admissibilidade, o algoritmo começa novamente do início com duas novas localizações de entre as primeiras localizações a serem inseridas. Caso este processo de inserção não obtenha uma solução admissível a rota final será a rota inicial correspondente a cada um dos clusters. Note-se que a ordem pela qual os postos são inseridos nos clusters verifica todos as condições de admissibilidade.

Este método foi implementado na função *metodo_insercao_menor_custo()*. Sendo que se o Cluster for composto apenas por um posto não será necessária aplicá-la, caso contrário todos os Clusters obtidos passam por este processo. A seguir apresenta-se um fluxograma deste método e um pequeno exemplo da sua aplicação.

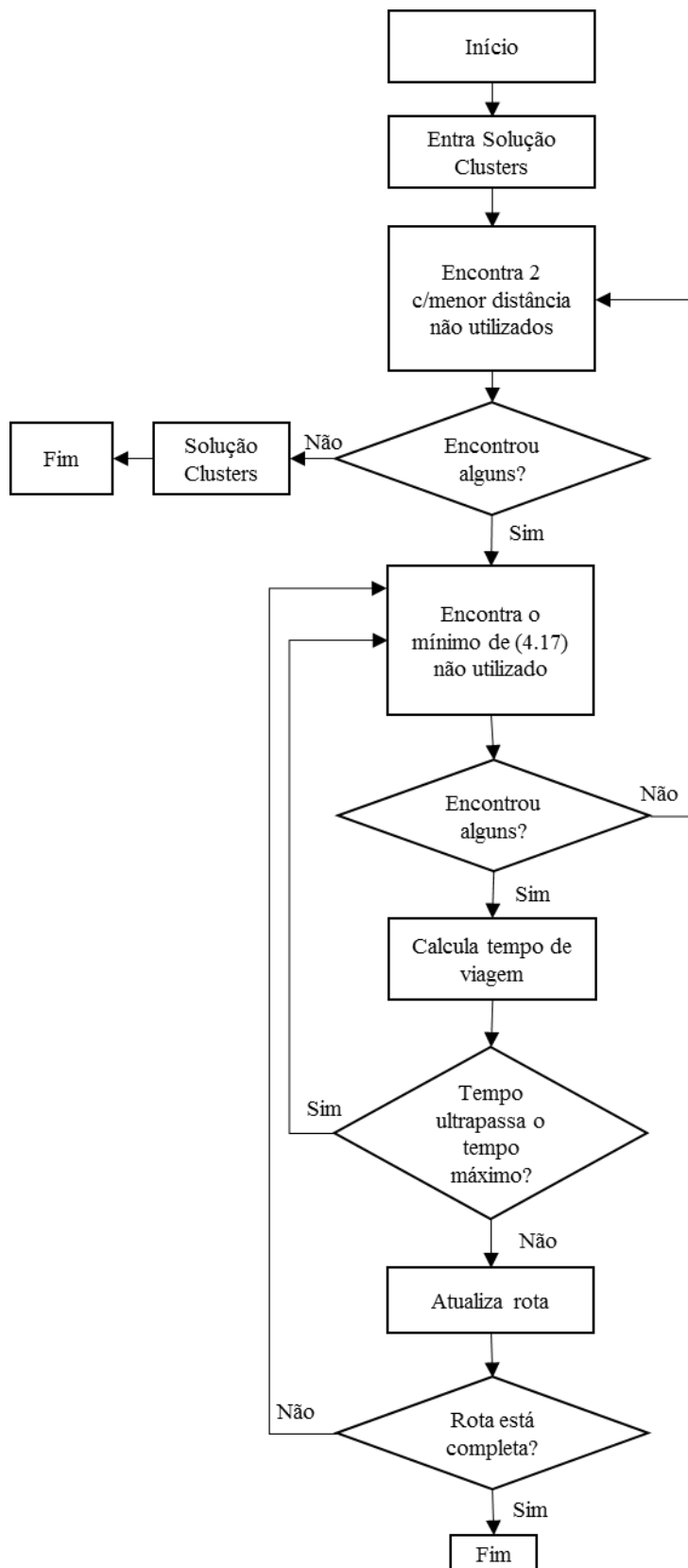


Figura 4.2 - Fluxograma da adaptação do método de inserção de menor custo.

Para melhor compreensão do método, a seguir apresenta-se um pequeno exemplo da sua aplicação. Suponhamos que $A = \{4, 1, 2, 3\}$, é um dos conjuntos de postos de recolha obtido após a fase de obtenção dos clusters. Após a inicialização das variáveis e vetores necessários, segue a procura da menor distância entre todas as localizações, não utilizada anteriormente.

Suponhamos que o resultado seria ir do BLH ao posto 1, como representado pela rota 1, na Figura 4.3 abaixo. O algoritmo segue sem problema até realizar a equação (4.16), procurando qual será a localização a inserir e onde, minimizando a distância de sua introdução. Neste caso seria o posto 2 entre o posto 1 e o BLH, obtendo a rota 2. Segue para a verificação do tempo de viagem, onde satisfaz a condição e continua na procura de outra localização para inserir. A localização de menor distância a inserir seria o posto 4 entre o posto 2 e o BLH, como representado na rota 3, na Figura 4.5. No entanto, esta rota já ultrapassou o tempo máximo possível de viagem, logo inicia a procura de uma nova localização a inserir. A próxima possibilidade será o posto 3 no mesmo sítio, tal como na Figura 4.6. Embora nenhuma destas duas rotas, nem as outras possibilidades, consigam verificar a condição temporal. Portanto o algoritmo começa de novo com a inserção das duas localizações com menor distância, superior à distância das 2 primeiras localizações inseridas anteriormente. Como se pode observar nas Figuras 4.6 e 4.7, esses postos seriam o 3 e 4. Inserindo posteriormente o posto 2 e de seguida o BLH dado que o tempo de viagem de ambas as rotas 6 e 7 não ultrapassava o tempo máximo de viagem imposto. A única localização que resta inserir será o posto 1, em que minimizaria a distancia de inserir mais um posto entre 2 e 3, tal como na Figura 4.10. No entanto esse posto não verificou a condição do tempo de viagem, logo o algoritmo tenta inserir as localizações ainda fora da rota (unicamente o posto 1) na próxima melhor minimização. Encontrando uma solução com a distância de inserção maior, mas menor que as outras possibilidades, verificando que o tempo de viagem está dentro da norma e que já todas as localizações estão dentro da rota, neste caso encontrou uma solução admissível apresentada na Figura 4.11, logo é finalizado o algoritmo. Eventualmente se essa rota não fosse admissível iria encontrar duas novas primeiras localizações, e o processo continuava até ser encontrada uma rota que verificasse sempre a condição do tempo de viagem ou todas as possibilidades foram testadas e falharam. Não encontrando solução neste processo, a solução deste algoritmo será a rota que entrou, ou seja, a rota dos Clusters $\{0, 4, 1, 2, 3, 0\}$.

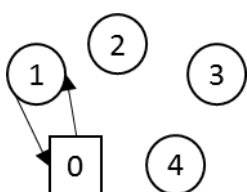


Figura 4.3 - Rota 1.

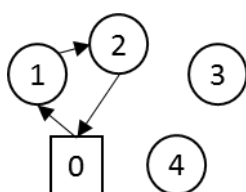


Figura 4.4 - Rota 2.

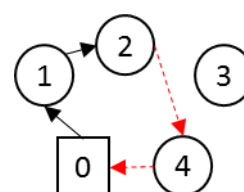


Figura 4.5 - Rota 3.

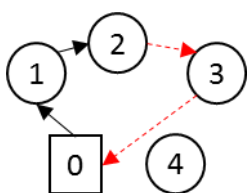


Figura 4.6 - Rota 4.

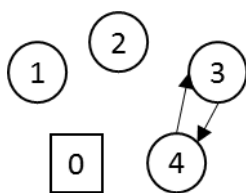


Figura 4.7 - Rota 5.

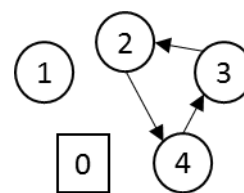


Figura 4.8 - Rota 6.

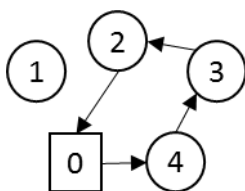


Figura 4.9 - Rota 7.

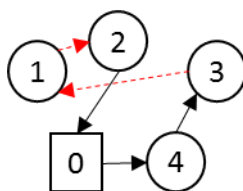


Figura 4.10 – Rota 8.

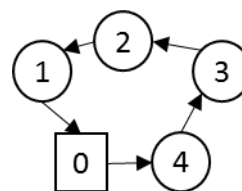


Figura 4.11 - Rota 9.

Obtemos, deste modo, um conjunto de rotas admissíveis, contudo para obter melhores resultados, ainda é aplicado um método de melhoramento. Segue-se assim a fase final da Heurística, o algoritmo de melhoramento *2-ótimal*, implementado na função *melhoramento()*.

Como dito anteriormente, é aplicado o método *2-ótimal* que consiste em retirar dois arcos e trocá-los por outros dois. Devido à restrição de tempo de viagem também é necessária fazer uma adaptação, logo a rota apenas muda quando a distância e o tempo de viagem não sejam superiores a distância da rota anterior (saída do método de mínimo inserção ou já aqui calculada) e ao tempo máximo de viagem, respetivamente. Tendo em conta que as rotas são orientadas (compostas por arcos orientados), devido à assimetria das distâncias, na troca dos arcos será necessário inverter um lado da rota, dado que existem duas possibilidades. Assim, são criadas duas rotas, uma inversa da outra. Este processo é efetuado, até que exista melhoramentos, após todas as trocas possíveis se existe algum melhoramento, o processo é realizado novamente com a melhor rota encontrada. De seguida, na Figura 4.12, encontra-se o fluxograma deste algoritmo para melhor compreensão.

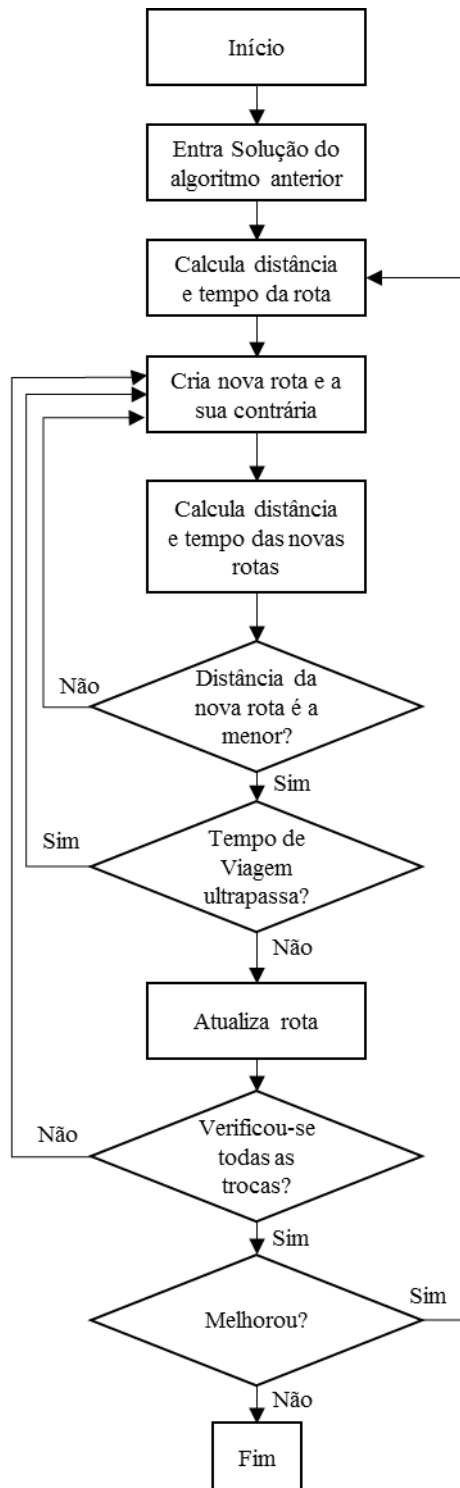


Figura 4.12 - Fluxograma da adaptação do método de melhoramento 2-óptimal.

Voltemos ao exemplo, recorde-se que a solução obtida no algoritmo anterior se apresenta na Figura 4.11. Dado que existe mais de um posto de recolha este segue para o método de melhoramento. Este método cria novas rotas, trocando dois arcos e invertendo o resto. Suponhamos que a primeira troca efetuada se encontra na Figura 4.13, após o calculo de todas as distâncias tanto da rota inicial como da nova rota auxiliar, é verificado se essa é a melhor distância de trocas até aí e se o tempo de viagem se mantém dentro do limite imposto. No entanto, esta rota ultrapassou o tempo de viagem possível, logo é criada uma nova rota com diferentes trocas, ou seja, a rota 11. Nesta última, ambas as condições são

verificadas. O resto das trocas são realizadas, mas não melhoram o resultado da rota anterior logo a rota principal será atualizada. Porém, o algoritmo não está finalizado, irão realizar-se todas as trocas possíveis nesta nova rota melhorada.

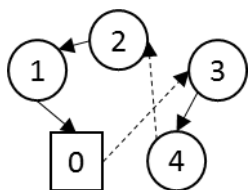


Figura 4.13 – Rota 10.

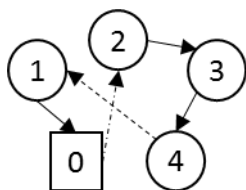


Figura 4.14 – Rota 11.

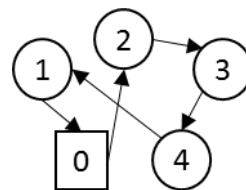


Figura 4.15 – Rota 12.

O objetivo é idêntico ao anterior, procurando a melhor solução para a rota trocas que satisfazem as condições serão efetuadas, e caso seja possível melhorar, a rota principal é atualizada e continua-se a pesquisa. Suponhamos que não existe nenhuma troca possível que melhore a distância total e verifique o tempo de viagem da rota 12, então esta será a solução final para esta rota.

Capítulo 5

Resultados Computacionais

Neste capítulo apresentam-se os resultados computacionais obtidos para várias instâncias do problema considerando a simulação da expansão da rede de BLH da MAC tal como descrita no capítulo 3.

O modelo em programação linear inteira mista foi implementado na linguagem Concert do Cplex e a heurística foi implementada usando a linguagem C, ambos na ferramenta Visual Studio.

Os resultados apresentados foram obtidos num computador com um processador Intel Core i7-7600 3.4GHz e com uma memória RAM de 8GB. A versão utilizada do IBM ILOG CPLEX foi a 12.5 do ano 2013.

Consideraram-se 17 instâncias com um número de postos a variar entre os 15 e 30 postos e 2 instâncias adicionais, uma considerando todos os postos existentes na área de Lisboa (43 postos) e outra considerando todos os postos na área de Lisboa respeitando os 30 km impostos pelo BLH português (34 postos).

No anexo 1 apresenta-se uma lista dos centros de saúde operacionais na área da Grande Lisboa, referindo-se se pertence ao limite de 30km. Para as instâncias geradas os postos foram escolhidos aleatoriamente de entre esta lista e, sem ter em consideração o limite de distância de 30km. No anexo 2, encontra-se um mapa de todos esses centros.

O input do problema, para o modelo em PLIM, para cada instância, corresponde a um ficheiro de texto com o número de postos da instância, o número mínimo de veículos calculado anteriormente pela formula (4.13) e a capacidade correspondente de 228, o tempo de viagem já fixo de 4 horas, as matrizes de distância e tempo, a procura, ou seja, o número de frascos a recolher em cada um dos postos e o tempo de serviço em cada posto (fixo a 15 min). O tempo é apresentado em segundos e a distância em metros. No método heurístico para além dos mesmos parâmetros como input são necessárias as coordenadas geográficas de cada posto, que se apresentaram em outro ficheiro de texto. Um exemplo dos mesmos é apresentado nos anexos 3 e 4.

A seguir encontra-se a tabela 5.1, com um resumo de alguns dos parâmetros dessas instâncias, nomeadamente o número de postos e o número total de frascos a recolher em cada um dos postos de recolha, bem como a quantidade de dadoras que geraram esses frascos.

Tabela 5.1 - Resumo de Input de dados das instâncias geradas.

Instância	Número de Postos	Número total de frascos a recolher	Número de dadoras
1	15	546	62
2	15	528	61
3	25	739	87
4	25	740	88
5	20	809	90
6	34	1250	143
7	20	658	83
8	30	934	115
9	15	602	66
10	15	681	72
11	15	580	64
12	15	628	69
13	15	502	57
14	20	612	80
15	20	644	77
16	20	635	78
17	20	776	89
18	20	813	93
19 (Todos)	43	1517	180

Assim, os números de postos nas instâncias variam de 15 a 43 postos, existem sete instâncias com 15 postos de recolha, sete com 20, duas com 25, uma com 30, uma com 34 (correspondente a todos os postos dentro dos 30km de limite inicial do BLH) e uma instância com postos situados em todos os Centros de Saúde ativos na área da Grande Lisboa.

5.1.1 Exemplo

Para uma melhor compreensão da heurística desenvolvida apresenta-se um pequeno exemplo correspondente à instância 1. Esta instância é composta pela maternidade e por 15 postos de recolha, não restringidos pelo limite imposto pela maternidade de 30km os quais se apresentam na tabela seguinte:

Tabela 5.2 - Centros correspondentes ao exemplo.

Nº do Vértice	Nome do Posto de Recolha/ MAC
0	Maternidade Alfredo da Costa
1	Centro de Saúde Ajuda
2	Centro de Saúde Amadora
3	Centro de Saúde Arruda dos Vinhos
4	Centro de Saúde Azambuja
5	Centro de Saúde Carnaxide
6	Centro de Saúde de Algueirão - Mem Martins
7	Centro de Saúde de Rio de Mouro
8	Centro de Saúde Lourinhã
9	Centro de Saúde Lumiar
10	Centro de Saúde Marvila
11	Centro de Saúde Parede
12	Centro de Saúde Penha de França
13	Centro de Saúde Póvoa de Santa Iria
14	Centro de Saúde São Mamede/Santa Isabel
15	Centro de Saúde Sete Rios

A distribuição geográfica dos centros do exemplo encontra-se no mapa que se segue.

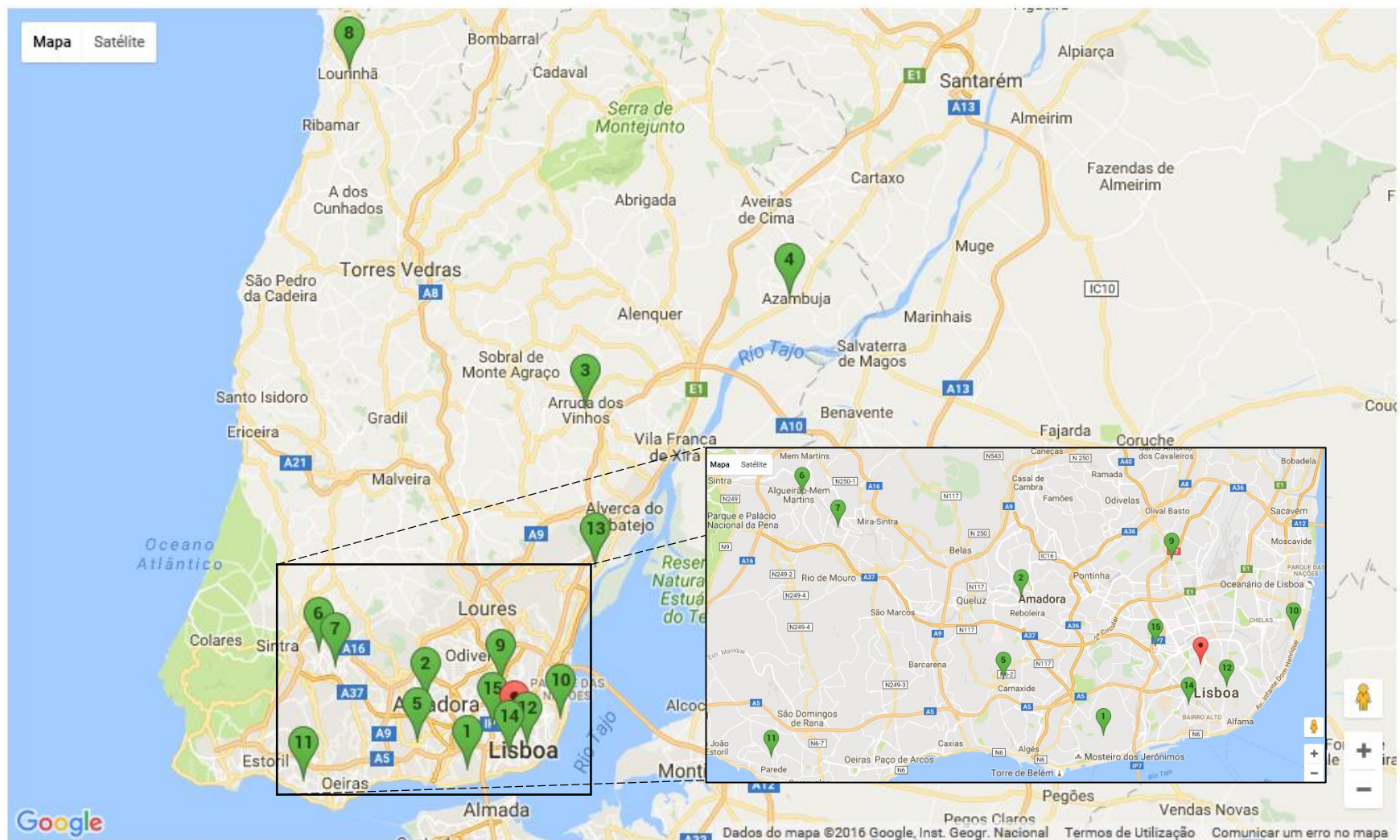


Figura 5.1 - Mapa da localização dos Postos de recolha e MAC do exemplo.

Os ficheiros de input do exemplo encontram-se no anexo 3 e 4. O anexo 3 apresenta os dados para o modelo em PLIM e Heurística. Enquanto que o anexo 4 apresenta as coordenadas do problema para a Heurística.

5.2 Resultados obtidos

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos considerando o modelo matemático em PLIM e a heurística.

Na heurística, a escolha do primeiro posto é aleatória, logo existe muitas possibilidades para os Clusters criados. Para obter uma boa solução são realizadas várias iterações. Considerou-se duas hipóteses para o número máximo de iterações, 20 e 100 iterações. Em cada um dos casos considera-se a melhor solução obtida.

Para as instâncias com 34 postos (instância 6) e para a instância com todos os postos (instância 19) não se encontrou a solução ótima. O CPLEX terminou com o erro “Out of memory”.

O output de ambos os programas, corresponde a um ficheiro de texto, com o valor da distância da solução, as rotas criadas, o tempo de CPU, o tempo de viagem, capacidade e distância de cada rota. No caso da heurística também se apresentam as coordenadas polares, os Clusters, todos os valores obtidos nas iterações e os resultados obtidos para as rotas antes do algoritmo de melhoramento.

5.2.1 Resultados obtidos para o exemplo

Os resultados obtidos considerando o modelo matemático em PLIM encontram-se no anexo 5, já os resultados obtidos usando a heurística para o mesmo exemplo apresentam-se no anexo 6. No caso da heurística os valores obtidos quando se considera os dois valores para o número máximo de iterações foram os mesmos.

Na primeira linha da tabela 5.3 descrita e apresentada na secção 5.2.2 encontram-se os valores correspondentes ao valor ótimo, os valores da heurística e os gaps correspondentes ao exemplo. Na primeira linha da tabela 5.5 da mesma secção, apresentam-se os tempos computacionais obtidos em ambos os métodos.

Obteve-se, para este exemplo, um valor ótimo de 284081 metros, isto é, aproximadamente 284 km em apenas 0,88 segundos. Enquanto que a heurística num tempo de 0,094 e 0,25 segundos obteve um valor de 312233, isto é, aproximadamente 312 km com o melhoramento realizado, correndo a heurística respetivamente 20 e 100 vezes. As soluções têm assim uma diferença de apenas 28 km, o que corresponde a um gap de 9.91%.

Nesta instância, como se pode ver pelos resultados obtidos na tabela descrita, não foi possível melhorar nenhuma das rotas obtidas pelo método de inserção de menor custo, ou seja, não ocorreu nenhum melhoramento.

Na figura 5.2, apresentam-se, as rotas correspondentes à solução ótima obtida usando o modelo matemático, logo estas seriam a melhor maneira de realizar a recolha dos frascos, satisfazendo todas as restrições. A figura 5.3, apresenta as rotas obtidas pela heurística.

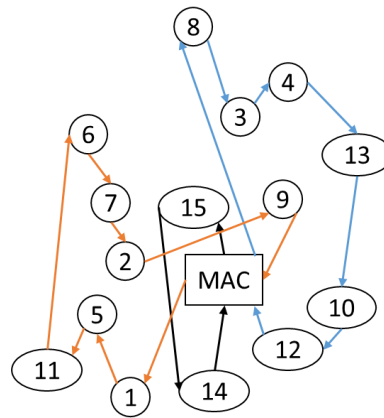


Figura 5.2 - Rotas de recolha obtidas considerando o modelo PLIM para o exemplo.

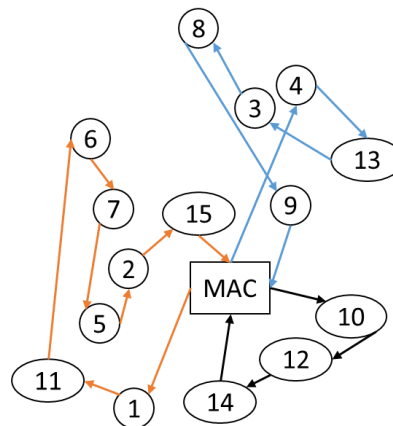


Figura 5.3 - Rotas de recolha obtidas pela heurística para o exemplo.

Comparando os resultados finais obtidos pela heurística e a solução ótima verifica-se que, existe uma rota muito semelhante na heurística após melhoramento a uma das rotas ótimas. As únicas diferenças são um vértice não incluído e diferentemente posicionado.

Estas casualidades também se encontraram em outras instâncias, com rotas similares e pontualmente iguais. A inicialização num posto aleatório, pode implicar a “quebra” de uma rota ótima, ou seja, pode dividir rotas, o que influencia não só a rota a que o primeiro posto ficará anexado como todas as outras criadas. Assim, tratando-se de um método heurístico, existe grande possibilidade de não se obter a solução ótima. No entanto, como apresentado na secção 5.2.2 os valores obtidos e os gaps obtidos rondam os 11%.

Esta simulação tinha como pressuposto 62 dadoras que doaram no total 546 frascos para os diversos postos. Ou seja, 71 a 137 litros de leite iriam ser recolhidos com sucesso, isto é, sem perda excessiva de temperatura do leite caso as seguintes rotas fossem realizadas.

5.2.2 Resultados Globais

Nesta secção apresentam-se os resultados globais de todas as instâncias, e faz-se uma análise estatística das médias totais e por categoria (com o mesmo número de postos) das instâncias com o mesmo número de postos.

Na tabela 5.3 apresentam-se os valores ótimos, obtidos considerando o modelo matemático e os limites superiores para o valor ótimo obtidos pela heurística (na fase de construção e depois da fase de melhoramento, em ambas as corridas), bem como os tempos de execução em segundos, o gap (diferença percentual entre o valor dado pela heurística e o valor ótimo) da heurística com e sem melhoramento, e a percentagem de melhoramento da heurística na fase de melhoramento. Os resultados tabelados, encontram-se em metros ou segundos.

Os gaps são calculados pela formula 5.1, apresentada a seguir, onde $\overline{v(P)}$ o valor dado pela heurística e $v(P)$ é o valor ótimo.

$$\frac{\overline{v(P)} - v(P)}{v(P)} \quad (5.1)$$

Tabela 5.3 - Resultados obtidos para cada instância.

Instância	Valor ótimo (metros)	Heurística c/melhoria ¹¹ (metros)	Heurística c/melhoria ¹² (metros)	Heurística s/melhoria ¹¹ (metros)	Heurística s/melhoria ¹² (metros)	A mesma solução Heurística	Gap ¹²	Gap s/melhoria ¹²	% de melhoria ¹²
1	284081	312233	312233	312233	312233	✓	9,91%	9,91%	0,00%
2	191006	196630	196630	204129	204129	✓	2,94%	6,87%	3,81%
3	337162	362702	359489	366653	361394	✗	6,62%	7,19%	0,53%
4	292893	336112	330896	344798	331589	✗	12,98%	13,21%	0,21%
5	238642	271412	271412	271472	271472	✓	13,73%	13,76%	0,02%
6	-	296935	296275	306749	306089	✗	-	-	3,31%
7	145687	165183	159279	169973	165466	✗	9,33%	13,58%	3,88%
8	219938	249387	247564	257992	256169	✗	12,56%	16,47%	3,48%
9	212051	222143	212191	223119	213674	✗	0,07%	0,77%	0,70%
10	319368	347828	347828	352093	352093	✓	8,91%	10,25%	1,23%
11	270470	329557	284122	330075	299040	✗	5,05%	10,56%	5,25%
12	293625	333076	324611	334756	324611	✗	10,55%	10,55%	0,00%
13	329377	365414	365414	373774	373774	✓	10,94%	13,48%	2,29%
14	287708	340862	340862	344591	344591	✓	18,47%	19,77%	1,09%
15	351169	453998	448900	582644	517380	✗	27,83%	47,33%	15,26%
16	281578	297682	297682	414754	414754	✓	5,72%	47,30%	39,33%
17	289093	335449	335449	408427	408427	✓	16,03%	41,28%	21,76%
18	370228	405833	405833	509156	509156	✓	9,62%	37,52%	25,46%
Todos	-	727396	680744	908965	904740	✗	-	-	32,90%

Os valores obtidos da distância total percorrida, em ambos os métodos, são muito variáveis não sendo possível uma comparação direta entre si, dado que nem todas as instâncias têm o mesmo número de postos.

¹¹ Para a heurística com 20 iterações.

¹² Para a heurística com 100 iterações.

A instância com melhores resultados, isto é, com menor distância total, corresponde à instância 7, com um percurso de aproximadamente 146 quilómetros. Curiosamente esta é uma instância que pertence à categoria de 20 postos embora existam instâncias a abranger um menor número de Centros de Saúde. Isto, deve-se ao facto desta instância apenas ter postos de recolha situados em Centros de Saúde dentro do limite de 30 quilómetros. No entanto conforme o objetivo do BLH poderá escolher implementar uma que não esteja restringida a esse limite ou que tenha menos ou mais postos de recolha.

A que traria mais custos, e não se aconselha a implementação real, é a instância 18, pois alcançou o pior resultado dos testados otimamente. Nesta instância a recolha é efetuada apenas em 20 Centros de Saúde, mas possui uma procura elevada, ou seja, o volume de frascos a recolher é superior ao volume das outras instâncias da mesma categoria, como se pode verificar na tabela 5.1. Pela heurística seria a instância com todos os Centros de Saúde lisboetas como se esperava. No entanto a instância 15 (de apenas 20 postos de recolha), obteve o segundo maior valor, mas apresentou o maior gap, demonstrando que a solução obtida pela heurística não foi tão boa como a das outras instâncias.

Comparando a Heurística que se repetiu 20 vezes, com a de 100 verificou-se que 47% das soluções obtidas eram completamente iguais, e as restantes obtiveram uma menor distância total na de 100 repetições. Conclui-se assim, que será melhor a utilização da heurística de mais repetições.

Os gaps e a percentagem de melhoramento, apresentados na tabela 5.3, correspondem apenas à heurística com 100 repetições, dado que esta apresentou melhores resultados. O gap entre o valor obtido pela heurística após melhoramento e o valor ótimo obtido usando o modelo varia entre 0,07% e 27,83%, correspondentes respetivamente aos valores das instâncias 9 e 15. No entanto, os gaps no caso em que não se considere a fase de melhoramento estão entre 0,77% e 28,97%. Efetivamente observa-se que a fase de melhoramento reduz significativamente o gap. A percentagem de melhoria varia entre 0% e 17%.

Observa-se também que a pesquisa iterada de um grande número de soluções obtidas na heurística, obtendo como solução final a melhor também contribui para uma diminuição no gap.

Para uma melhor comparação dos resultados, na tabela 5.4 apresentam-se os resultados médios desses valores por categoria do número de postos e globais, das diversas instâncias. Ou seja, todos as instâncias de 15 postos pertencem a uma categoria, todos as instâncias de 20 postos a outra e assim sucessivamente.

Tabela 5.4 -Resultado médios obtidos para o valor ótimo e valores dados pela heurística pré e pós melhoramento.

Nº de Postos	Nº de instâncias	Valor ótimo (metros)	Heurística c/melhoria ¹³ (metros)	Heurística c/melhoria ¹⁴ (metros)	Heurística s/melhoria ¹⁴ (metros)	Gap ¹⁴	Gap s/melhoria ¹⁴	% de melhoria ¹⁴
15	7	271425,4	300983,0	291861,3	297079,1	6,91%	8,91%	1,90%
20	7	280586,4	323236,3	322221,6	331657,4	14,22%	17,82%	3,35%
25	2	315027,5	349407,0	345192,5	346491,5	9,80%	10,20%	0,37%
30	1	219938,0	249387,0	247564,0	256169,0	12,56%	16,47%	3,48%
34	1	-	296935,0	296275,0	306089,0	-	-	3,31%
43	1	-	683802,0	683235,0	689430,0	-	-	0,91%
Média total	-	-	-	-	-	10,59%	13,17%	2,38%

¹³ Para a heurística com 20 iterações.

¹⁴ Para a heurística com 100 iterações.

Utilizando o modelo em PLIM os valores médios de distância total percorrida são de aproximadamente: 271 km para instâncias com 15 postos, 281 km para instâncias de 20 postos, 315 km para instâncias de 25 postos e 219 na instância de 30 postos. Na heurística os valores médios verificados foram de 292 km, 323 km, 345 km, 248 km, 297 km e 683 km, para as instâncias de 15, 20, 25, 30, 34 e 43 Centros de Saúde, respetivamente. Categorias com poucas instâncias e postos de recolha próximos pode resultar em uma distância total a percorrer inferior à de outras categorias com menos postos, como acontece na instância de 30 e de 34 (todos os postos de recolha dentro do limite de 30 km).

Nas instâncias percorridas obtidas nos dois métodos alcançou-se um gap, entre 7% e 14%, o que corresponde a uma média total de 10,59%, isto é, aproximadamente a 30 km.

Numa análise do algoritmo de melhoramento (da heurística corrida 100 vezes), verifica-se que numa primeira categoria de 15 postos por instância ocorreu uma diferença de aproximadamente 5,2 km, o que correspondeu a um melhoramento percentual de 1,9%. Na categoria de 20 postos ocorreu uma melhoria média de aproximadamente 9,4 km, ou seja, de 3,35%. Na próxima categoria, de 25 postos, verificou-se uma melhoria de 1,3 km, isto é, 0,37%. Na instância de 30 postos a heurística pré e pós melhoramento apresentou uma diferença de 2,38%, assim, um melhoramento de 6,8 km. Consequentemente, caso não existisse o algoritmo de melhoramento, o gap entre o valor dado pela heurística e o valor ótimo rondaria os 13%, variando entre 9% e 17%.

Comparativamente, os resultados da heurística para 100 repetições e 20 repetições, obtiveram uma diferença média de 10km. Nas instâncias de 15 postos haveria uma diferença média de menos de 9,1 km, 1 km na segunda categoria, 4,2 km na terceira, 1,9 na quarta, 0,7 km na quinta e 0,6 km na instância com todos os postos. Entre todos existia uma diferença percentual de 1%, algo não muito significativo. No entanto, só ocorreram melhoramentos, em mais de metade das instâncias e o tempo de CPU mantém-se baixo, tal como se pode verificar nas tabelas 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 - Tempo computacional CPU.

Instância	Tempo modelo (sec)	Tempo heurística ¹⁵ (sec)	Tempo heurística ¹⁶ (sec)
1	0,88	0,094	0,25
2	4,96	0,093	0,131
3	669,47	0,031	0,208
4	1263,36	0,046	0,208
5	2160,20	0,031	0,121
6	-	0,093	0,211
7	204,96	0,031	0,184
8	3475,87	0,031	0,158
9	8,13	0,015	0,102
10	33,75	0,031	0,124
11	0,72	0,031	0,146
12	3,65	0,031	0,103
13	0,72	0,015	0,148
14	122,19	0,015	0,17
15	39,16	0,015	0,092
16	33,70	0,015	0,095
17	288,00	0,015	0,178
18	56,19	0,015	0,147
Todos	-	0,046	0,293

Tabela 5.6 - Tempo de CPU dos programas por categoria.

Nº de Postos	Tempo CPU modelo em PLIM (sec)	Tempo CPU heurística ¹⁵ (sec)	Tempo CPU heurística ¹⁶ (sec)
15	7,54	0,044	0,143
20	414,91	0,020	0,141
25	966,42	0,039	0,208
30	3475,87	0,031	0,158
34	-	0,093	0,211
43	-	0,046	0,293
Média Total	492,11	0,037	0,162

Em relação ao tempo de CPU, a tabela 5.5 corresponde ao tempo de CPU para cada instância enquanto que a tabela 5.6 corresponde às médias desses mesmo tempos por categoria. Na tabela 5.5 podemos verificar que o tempo de CPU na heurística aumenta muito ligeiramente consoante o aumento do número de postos de cada instância. Os tempos obtidos para a heurística (repetindo 20 vezes) situam-se mediantemente em menos de 0,1 segundos, ou seja, uma fração de segundo mesmo para instâncias de maior dimensão, com uma média total de 0,037 segundos. Para repetições de 100 vezes, o tempo de corrida aumenta para mais do dobro, mas permanece inferior a 1 segundo em todas as instâncias. Assim, o programa continua computacionalmente rápido em média com menos de 0,2 segundos. A diferença entre instâncias de diferentes dimensões é mínima. Confirmando assim que a heurística é rápida.

Já o tempo CPU considerando o modelo em PLIM é muito variável consoante o tamanho das instâncias, podendo mesmo existir diferenças substanciais dentro da mesma categoria (com a mesma quantidade de postos).

Nas instâncias de 15 postos o tempo varia de 0,72 a 34 segundos, com uma média de 7,5 segundos, valores que já ultrapassam o tempo do método heurístico, apesar de ser uma instância com poucos postos. Com um aumento de 5 postos nas instâncias o tempo aumenta para cerca de 7 minutos, enquanto que na heurística praticamente não se encontra diferença nos tempos. Nas instâncias seguintes de 25 postos o tempo CPU ronda os 16 minutos e nas de 30 postos 58 minutos, estes já são valores

¹⁵ Para a heurística com 20 iterações.

¹⁶ Para a heurística com 100 iterações.

elevados. A resolução exata do problema quando se consideram instâncias maiores tem elevados tempos computacionais enquanto que com a heurística se obtêm relativamente boas soluções em pouco tempo.

Neste tipo de problema, ligado à área da saúde, onde semanalmente ou quinzenalmente, os parâmetros mudariam (a quantidade a recolher seria sempre diferente), não faria sentido correr regularmente um programa que demorasse horas numa unidade hospitalar para obter as rotas ótimas a percorrer, dado que a sua especialização é cuidar dos utentes, o deterioramento de possivelmente outras tarefas necessárias em prol de reduzir um pouco os custos é redundante. Deste modo, caso se venha a instituir um programa no software do BLH é aconselhável o uso da heurística caso se utilizem mais de 25 postos de recolha.

De seguida, apresentam-se tabelas das médias por rota e por categoria, das capacidades da rota na tabela 5.7 e do tempo de viagem e de distância na tabela 5.8.

Tabela 5.7 – Número de frascos a recolher em média por categoria das instâncias.

Nº de Postos	Média de frascos por rota no modelo (uni.)	Média de frascos por rota na heurística ¹⁷ (uni.)	Média de frascos por rota na heurística ¹⁸ (uni.)	Nº frascos (uni.)	Volume de leite doado (litros)
15	185,56	171,18	185,56	581,0	76 - 145
20	207,02	184,24	184,24	706,7	92 - 177
25	184,88	184,88	184,88	739,5	96 - 185
30	186,80	186,80	186,80	934,0	121 - 234
34	-	208,33	208,33	1250,0	163-313
43	-	189,63	189,63	1517,0	197-379
Média Total	194,39	181,18	186,48	954,7	124 – 239

O número médio total de frascos a recolher é de 955, sendo na categoria mais pequena recolhidos 581 frascos e na instância de todos os Centros mais de 1500. Em relação às médias de frascos nas rotas resultantes, cada rota teria em média 194 frascos na solução ótima e na solução admissível 181 (na de mais repetições). Deste modo, nesta simulação existiriam disponíveis cerca de 124 a 239 litros de leite humano, correspondentes à possibilidade de utilizar frascos de diferentes tamanhos para alimentar os bebés necessitados. Este volume ultrapassaria por vários litros o que seria considerado ideal atualmente (8 litros por semana). O BLH teria assim oportunidade de “servir” uma quantidade mais significativa de hospitais com UCIN, chegando a mais bebés necessitados.

¹⁷ Para a heurística com 100 iterações.

¹⁸ Para a heurística com 20 iterações.

Tabela 5.8 – Tempo de médio viagem e distância média das instâncias de cada categoria.

Nº de Postos	Tempo ótimo (sec)	Tempo heurística c/melhor. ¹⁹ (sec)	Tempo heurística c/melhor. ²⁰ (sec)	Tempo heurística s/melhor. ²⁰ (sec)	Distância ótima (metros)	Distância heurística c/melhor. ¹⁹ (metros)	Distância heurística c/melhor. ²⁰ (metros)	Distância heurística s/melhor. ²⁰ (metros)
15	9401,63	9859,87	8933,86	9085,71	86673,14	96186,86	85899,46	87410,38
20	10773,40	9949,96	9746,57	9802,95	82838,77	84329,75	84076,07	87033,43
25	10876,50	11398,38	11488,50	11505,00	78756,88	87351,75	86298,13	86622,88
30	9487,00	9777,40	9785,80	9995,00	43987,60	49877,40	49512,80	51233,80
34	-	9085,33	9010,33	9178,50	-	49489,17	49379,17	51014,83
43	-	9938,13	10029,50	10177,38	-	85475,25	85404,38	86178,75
Média Total	10145,01	10014,02	9608,72	9714,82	81652,05	85429,56	81406,39	83304,20

A tabela 5.8 corresponde às médias de tempos e distâncias das rotas criadas. O tempo de viagem correspondente ao tempo que o veículo percorre a partir do primeiro posto, encontra-se em segundos logo para o tempo de viagem estar dentro do pretendido terá de ser menor ou igual a 14400 segundos (4 horas). Como se pode observar o tempo médio total quando se considera o modelo matemático é de 10145,01 segundos, ou seja, 2 horas 49 minutos aproximadamente. No caso da heurística sem melhoramento (a correr 100 vezes) obteve-se soluções com uma média total de 2 horas e 42 minutos aproximadamente, um tempo menor do que o das soluções ótimas, que decresce para um tempo de 2 horas e 40 minutos após melhoramento e na heurística de apenas 20 repetições um tempo de 2 horas e 47 minutos aproximadamente, considerando todas as categorias. As soluções heurísticas (de 100 repetições) têm assim rotas com menor tempo de viagem comparativamente com as soluções ótimas, mesmo apenas considerando as categorias corridas em ambos os métodos.

Em relação à média da distância de rotas realizadas o mesmo acontece, as rotas da heurística antes de serem melhoradas rodam os 83 km (78km até categorias de 30 postos) mas descem até aos 81 km (76 km até categorias de 30 postos) aproximadamente, no entanto a média da rota ótima ronda também os 81 km mas é superior em alguns metros.

Deste modo, conclui-se que apesar de uma maior distância total correspondente às soluções admissíveis, as distâncias das rotas são em média menores do que na solução ótima, bem como o tempo de viagem menor. Isto pode ser explicado pelo facto de poderem existir mais rotas, com um número inferior de postos. Enquanto que otimalmente as rotas são genericamente equilibradas, devido à forma de criação dos clusters é possível existirem rotas com um ou dois postos, diminuindo assim a média de distância e tempo percorridos nas rotas para cada instância.

¹⁹ Para a heurística com 20 iterações.

²⁰ Para a heurística com 100 iterações.

Capítulo 6

Conclusão

Nesta dissertação apresentou-se uma simulação de uma expansão do atual banco de Leite Humano da Maternidade Dr. Alfredo da Costa, no intuito de ajudar ao planeamento das rotas de recolha de leite humano. Esta é uma situação que se pretende seja uma realidade a muito curto prazo apesar das dificuldades financeiras que se fazem sentir na área da saúde em Portugal.

Em primeiro lugar fez-se uma pesquisa sobre a realidade mundial atual dos bancos de leite. A nível mundial e continental existem várias associações específicas para a ligação entre as redes de BLH nacionais. Existem neste momento mais de 35 países pertencentes à International Milk Banking Initiative (IMBI), com programas de BLH. O Brasil é presentemente o país com a maior rede de Bancos de Leite do mundo. No caso europeu, a pioneira na criação dos bancos de leite foi a Áustria existindo atualmente 210 BLH ativos na Europa e 17 planeados para entrar em funcionamento num futuro breve. Esta expansão dos bancos de leite humano na Europa levou à criação da European Milk Bank Association (EMBA) na qual o único banco de leite em Portugal está incorporado.

A expansão do BLH da MAC leva a um problema de otimização de rotas de recolha de leite humano em vários pontos. Este problema é um *Vehicle Routing Problem* (VRP) em que se considera capacidade limitada nos veículos e uma restrição de tempo máximo de percurso para cada rota definida, uma vez que, o leite humano tem que chegar ao BLH em condições de modo a poder ser utilizado. Assim, estabeleceu-se com base em informação dada pelos especialistas que se devia impor um tempo máximo de percurso de 4 horas.

Apresentou-se para este problema um modelo em Programação Linear Inteira Mista e uma heurística constituída por uma fase construtiva e uma fase de melhoramento. Na fase construtiva utiliza-se a abordagem *Cluster-primeiro-Rota-segundo*, isto é, primeiro define-se clusters de clientes usando o método *sweep* e depois resolve-se para cada cluster o problema de TSP resultante usando a heurística adaptada de inserção de menor custo. Segue-se uma fase de melhoramento onde se utiliza o algoritmo *2-óptimal*.

O modelo foi implementado usando a linguagem Concert do Cplex e a heurística a linguagem de programação C++.

Na heurística considerou-se dois valores (20 e 100) para o número máximo de possibilidades para o primeiro posto escolhido aleatoriamente para a solução.

As melhores soluções obtidas pela heurística considerando as várias instâncias são relativas a 100 iterações. O gap médio foi de 11%. A fase de melhoramento da heurística apresentada levou a um decréscimo, em média, de 3% relativamente ao limite superior obtido na fase construção.

No entanto, a diferença entre os tempos computacionais é significativa, especialmente nas instâncias de grande dimensão, isto é, com grande quantidade de postos de recolha. Concluiu-se que a

heurística, em todos os casos, obteve um tempo computacional pequeno (inferior a 1 segundo). O que, claramente, não se verificou na obtenção da solução ótima. Por exemplo, uma das instâncias demorou quase uma hora para se obter a solução ótima.

Outro ponto muito positivo é a eficiência na conservação do leite (um fator muito importante neste tipo de transporte), na maioria das instâncias as rotas criadas pela heurística possuíam um tempo de viagem menor, ou seja, com menos probabilidade de perda de qualidade do leite.

A simulação da expansão do BLH em Portugal apresentou algumas dificuldades devido ao atual escasso número de dadoras ativas. Assim, a informação disponível em Portugal relativa a BLH de maiores dimensões é quase inexistente, pelo que, se teve que recorrer a realidades estrangeiras.

A implementação de um sistema de recolha de leite humano nos moldes apresentados tornaria alcançável o acolhimento de muitas doações, atingindo e ultrapassando o ideal citado pelo coordenador atual do BLH português, ajudando, deste modo, mais bebés fragilizados e internados em UCIN espalhadas não só por Lisboa, mas por Portugal inteiro.

No futuro, é possível a aplicação prática no sistema informático da MAC ou outras instituições que possuam um BLH de um programa de criação de rotas, criando uma aplicação ou outro software baseado nos métodos descritos. O utilizador introduzia os dados e obtinha as rotas a realizar. Num hospital o objetivo principal é cuidar dos seus doentes, logo não é praticável aplicar um sistema de procura de soluções, deste problema, que demore muito tempo, pois, pode interferir noutras funções hospitalares mais importantes ou urgentes. Deste modo, não é aconselhável o uso do método de procura de soluções ótimas para uma rede de BLH com um número superior a 20 postos de recolha. Assim, aconselha-se a utilização exclusiva da heurística apresentada ou a utilização do modelo ótimo apenas para casos mais pequenos.

Ao nível de simulação há a possibilidade de criar outras instâncias com diferentes localizações de postos de recolha, outras adaptações aos parâmetros conforme as necessidades de cada situação ou mesmo a criação de uma rede nacional com diversos Bancos de Leite Humano em vários pontos do país. Outro objetivo seria a criação de outras heurísticas e comparação com a apresentada nesta dissertação.

Bibliografia

- [1] Toth, P., Vigo, D.: Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*. 123, 487–512 (2002).
- [2] Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W., Vigo, D.: Chapter 6 Vehicle Routing. *Transportation Handbooks in Operations Research and Management Science*. 367–428 (2007).
- [3] Toth, P., Vigo, D.: 1. An Overview of Vehicle Routing Problems. *The Vehicle Routing Problem*. 1–26 (2002).
- [4] Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M., Prins, C.: Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: A survey and synthesis. *European Journal of Operational Research*. 231, 1–21 (2013).
- [5] Fisher, M.L., Jaikumar, R.: A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*. 11, 109–124 (1981).
- [6] Stuhikarnnarunai, N.: A Sweep Algorithm for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. 2, 19–21 (2008).
- [7] Desrochers, M., Laporte, G.: Improvements and extensions to the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints. *Operations Research Letters*. 10, 27–36 (1991).
- [8] Dantzig, G.B., Ramser, J.H.: The Truck Dispatching Problem. *Management Science*. 6, 80–91 (1959).
- [9] Geofar, BLH MAC: Informação aos Pais dos Receptores.
- [10] Geofar, BLH MAC: Poderei ser dadora?
- [11] BLH MAC: BANCO DE LEITE HUMANO DO CHLC – MAC, PERGUNTAS FREQUENTES
- [12] Gomes, F., Afonso C., de Almeida, M.D.V.: BANCOS DE LEITE HUMANO: CONTEXTUALIZAÇÃO E RELEVÂNCIA. *Alimentação hHumana*. 14, 91–103 (2008).
- [13] EMBA, HMBANA: MILK SHARING - A statement from the European Milk Bank Association (EMBA) and the Human Milk Banking Association of North America (HMBANA). (2015).
- [14] Banco de Leite Humano: Funcionamento, Prevenção e Controle de Riscos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2008).
- [15] MIRIS: Human Milk Analyzer USER MANUAL and Quick guide. (2012).
- [16] WHO: Global Strategy for Infant and Young Child Feeding. World Health Organization Geneva. (2013).
- [17] GEOFAR, Quem somos: <http://www.geofar.pt/about.php> (Fevereiro, 2016).

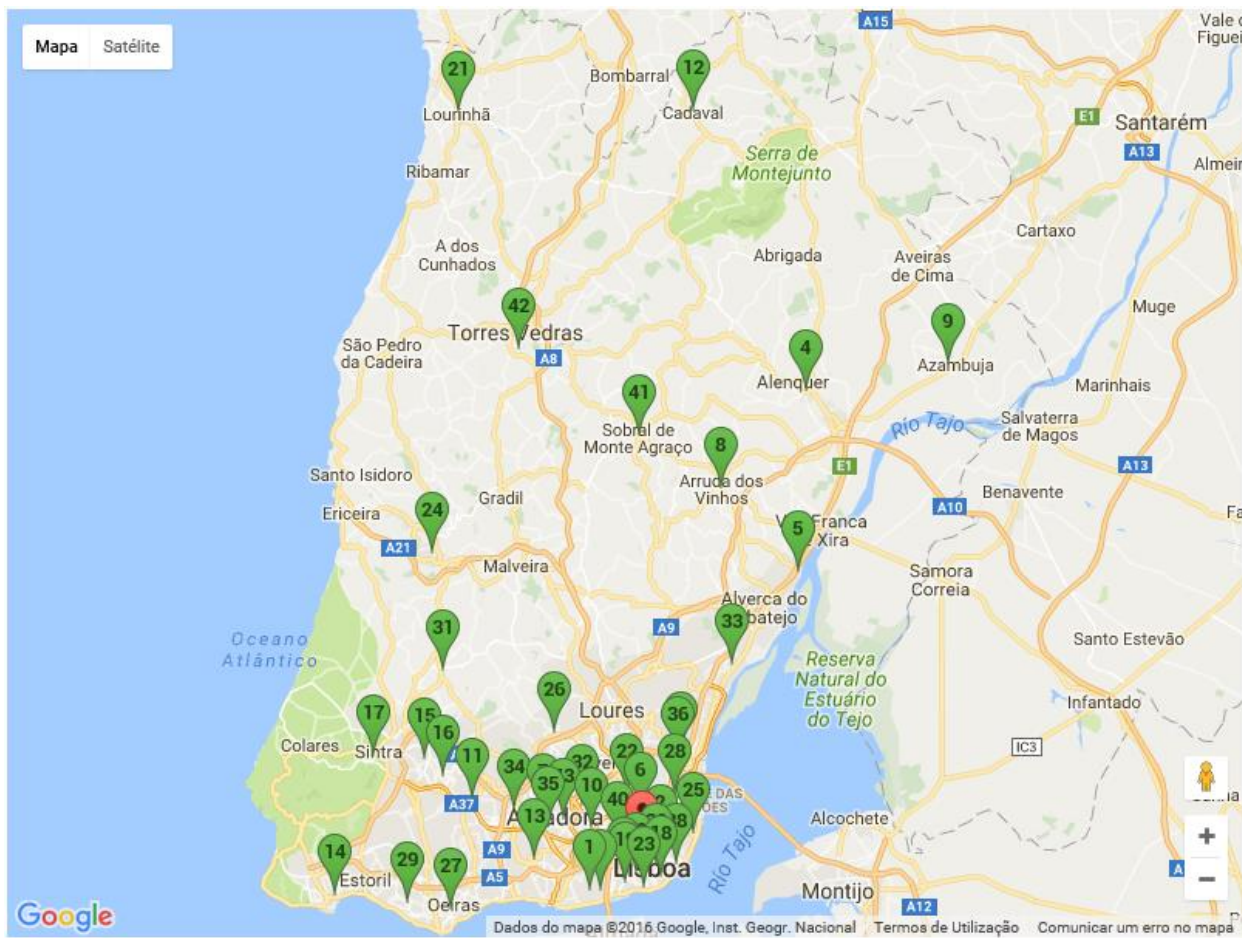
- [18] Wikipedia, Human milk banking in North America:
https://en.wikipedia.org/wiki/Human_milk_banking_in_North_America (Fevereiro, 2016).
- [19] EMBA: <http://www.europeanmilkbanking.com/> (Fevereiro, 2016).
- [20] EMBA, Portugal: <http://www.europeanmilkbanking.com/portugal.html> (Março, 2016).
- [21] EMBA, UK: <http://www.europeanmilkbanking.com/uk.html> (Março, 2016).
- [22] EMBA, Switzerland: <http://www.europeanmilkbanking.com/switzerland.html> (Março, 2016).
- [23] KJP, A report on operating a nationwide human milk bank in Korea:
<http://www.kjp.or.kr/journal/view.php?number=2010530405> (Março, 2016).
- [24] RedeBLH : <http://www.redeblh.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm> (Fevereiro, 2016).
- [25] WHO: <http://www.who.int/en/> (Fevereiro, 2016).
- [26] Issuu, e-book, V Jornadas de Obstritícia: https://issuu.com/lodipi/docs/e-book_v_mae
(Fevereiro, 2016).
- [27] Today'sDietitian, Donor Milk Banks vs. Milk Sharing:
<http://www.todaysdietitian.com/newarchives/110211p44.shtml> (Fevereiro, 2016).
- [28] HMBANA: <https://www.hmbana.org/> (Fevereiro, 2016).
- [29] Mothers Milk Bank, History Milk Banking:
<http://www.texasmilkbank.org/history-milk-banking> (Fevereiro, 2016).
- [30] Wikipédia, Ama de leite: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ama-de-leite> (Fevereiro, 2016).
- [31] TVI 24, Conheça o primeiro banco de leite humano: <http://www.tvi24.iol.pt/sociedade/banco-leite-leite-materno-maternidade-alfredo-costa-iol/1032705-4071.html> (Março, 2016).
- [32] IMBI: <http://www.internationalmilkbanking.org/> (Agosto, 2016).
- [33] UNICEF, Brasil, NOSSAS PRIORIDADES:
http://www.unicef.org/brazil/pt/activities_10004.htm (Agosto, 2016).
- [34] BLH MAC: Manual de operações do Banco de Leite Humano. (2009).

Anexos

Anexo 1

	Lista de Centros de Saúde em Grande Lisboa	A 30km de distância da MAC
1	Centro de Saúde Ajuda	Sim
2	Centro de Saúde Alameda	Sim
3	Centro de Saúde Alcântara	Sim
4	Centro de Saúde Alenquer	Não
5	Centro de Saúde Alhandra	Sim
6	Centro de Saúde Alvalade	Sim
7	Centro de Saúde Amadora	Sim
8	Centro de Saúde Arruda dos Vinhos	Não
9	Centro de Saúde Azambuja	Não
10	Centro de Saúde Benfica	Sim
11	Centro de Saúde Cacém	Sim
12	Centro de Saúde Cadaval	Não
13	Centro de Saúde Carnaxide	Sim
14	Centro de Saúde Cascais	Sim
15	Centro de Saúde de Algueirão - Mem Martins	Sim
16	Centro de Saúde de Rio de Mouro	Sim
17	Centro de Saúde de Sintra	Sim
18	Centro de Saúde Graça	Sim
19	Centro de Saúde Lapa	Sim
20	Centro de Saúde Loures	Sim
21	Centro de Saúde Lourinhã	Não
22	Centro de Saúde Lumiar	Sim
23	Centro de Saúde Luz Soriano	Sim
24	Centro de Saúde Mafra	Não
25	Centro de Saúde Marvila	Sim
26	Centro de Saúde Odivelas	Sim
27	Centro de Saúde Oeiras	Sim
28	Centro de Saúde Olivais	Sim
29	Centro de Saúde Parede	Sim
30	Centro de Saúde Penha de França	Sim
31	Centro de Saúde Pêro Pinheiro	Não
32	Centro de Saúde Pontinha	Sim
33	Centro de Saúde Póvoa de Santa Iria	Sim
34	Centro de Saúde Queluz	Sim
35	Centro de Saúde Reboleira	Sim
36	Centro de Saúde Sacavém	Sim
37	Centro de Saúde Santo Condestável	Sim
38	Centro de Saúde São João - Lisboa	Sim
39	Centro de Saúde São Mamede/Santa Isabel	Sim
40	Centro de Saúde Sete Rios	Sim
41	Centro de Saúde Sobral de Monte Agraço	Não
42	Centro de Saúde Torres Vedras	Não
43	Centro de Saúde Venda Nova	Sim

Anexo 2



Anexo 3

dados.txt - Bloco de notas															
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda															
!Número de Centros a visitar															
15															
!Número mínimo de Veículos															
3															
!Tempo máximo de serviço (segundos)															
14400															
!Capacidade do Veículo															
228 228 228															
!Matriz das distâncias (metros)															
0	8497	12137	37202	52197	11122	23258	20964	68303	6074	7371	21355	3147	20397	2815	2967
8319	0	8114	44624	59191	8251	19848	17554	73230	13174	15687	17522	9707	27391	7233	8132
11221	8187	0	39230	57246	5513	15503	13210	67836	11229	15912	19156	12609	25445	11071	8305
36055	43952	38350	0	27558	47167	48750	46684	43096	34416	33050	51751	34630	19405	38002	37177
50655	57109	56966	26946	0	57827	68464	66397	82428	49900	47650	71464	49229	33388	52602	51777
10434	7609	5793	47815	59057	0	17661	15367	73927	13040	17723	14315	11822	27256	10284	10116
23311	20277	14618	48793	68417	15705	0	3550	77303	22862	27546	17772	24699	38061	23161	19939
20845	17811	12152	47291	66915	13239	3223	0	75801	20396	25080	21147	22233	34613	20695	17473
68232	73889	68470	44181	83092	77287	78870	76804	0	64352	67821	81871	69558	63803	71366	68601
5724	11540	11397	33480	48867	12258	22719	20425	62086	0	8579	23668	7146	17067	8794	6029
7766	12180	16961	33965	48961	17822	28282	25989	67789	9895	0	29231	6790	15729	9713	8349
21622	18797	18505	51600	71224	14873	13317	21004	80110	25059	29743	0	23010	40868	21473	21435
2087	9795	13435	35864	50859	12420	25169	22875	69766	8698	7362	22653	0	19059	3439	5955
19238	25692	25549	20235	35503	26410	38272	36205	63664	18483	15664	41272	19436	0	21186	20360
2248	6119	11792	39277	54272	10777	23526	21232	72911	8149	9462	21009	2909	22472	0	3784
3170	8032	9047	37110	52106	9908	20369	18075	66292	6089	7745	21411	5588	20305	3860	0
!Matriz de tempo (segundos)															
0	881	1046	2075	2810	978	1609	1437	3277	868	1046	1387	661	1594	663	564
833	0	822	2163	3010	810	1389	1217	3372	1088	1444	1208	1136	1794	1036	810
920	757	0	1932	2808	656	1104	932	3141	886	1222	1242	1224	1592	1045	705
1848	2129	1889	0	1576	2054	2185	2034	2960	1662	1664	2264	2004	1244	2227	1804
2495	2894	2780	1475	0	2895	3029	2878	3823	2396	2310	3107	2651	1893	2874	2451
874	742	682	2083	2977	0	1233	1061	3330	1055	1391	1050	1178	1761	999	874
1469	1306	1040	2161	3063	1139	0	496	3402	1392	1728	1373	1772	2041	1593	1211
1286	1122	857	1987	2889	956	498	0	3228	1208	1544	1247	1589	1914	1410	1027
3339	3399	3196	3066	3882	3361	3493	3342	0	2932	3146	3571	3515	3032	3617	3082
776	1014	900	1563	2362	1015	1424	1252	2772	0	926	1428	1097	1147	1085	550
813	1438	1239	1618	2353	1354	1763	1591	3056	855	0	1766	783	1068	1191	938
1336	1204	1259	2222	3124	1042	1481	1296	3463	1508	1844	0	1640	2102	1461	1313
499	1104	1269	2174	2909	1201	1836	1664	3622	1171	989	1610	0	1693	756	992
1343	1741	1627	1248	2013	1743	2050	1899	3009	1244	1114	2129	1499	0	1721	1298
500	938	1017	2345	3080	948	1583	1411	3490	1138	1314	1358	637	1864	0	745
612	839	817	1806	2541	933	1342	1170	3014	619	958	1417	996	1325	820	0
!Procura															
0	53	10	65	27	34	33	11	38	63	13	14	59	4	64	58
!Tempo dispendido em serviço															
0	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900

Anexo 4

Exemplo.txt - Bloco de notas	
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda	
!Coordenadas	
38.73258	-9.147202
38.705531	-9.194509
38.75832	-9.234808
38.983496	-9.07793
39.068994	-8.874929
38.727046	-9.24344
38.797144	-9.341571
38.784845	-9.323985
39.242824	-9.310366
38.772179	-9.161097
38.74591	-9.101879
38.697387	-9.356737
38.724141	-9.134586
38.861759	-9.067734
38.717497	-9.153004
38.739549	-9.168992

Anexo 5

MODEL VRP

Optimal value : 284081.00

CPU : 0.88 seconds

Variables y:

Veículo 1:

1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -0.00 0.00 0.00 0.00 -0.00 0.00 -0.00 0.00 1.00 1.00

Veículo 2:

1.00 1.00 1.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 0.00 1.00 -0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00

Veículo 3:

1.00 0.00 -0.00 1.00 1.00 0.00 0.00 0.00 1.00 -0.00 1.00 -0.00 1.00 1.00 0.00 0.00

Veículo 1:

xijk[0][15] = 1.00 xijk[14][0] = 1.00 xijk[15][14] = 1.00

Veículo 2:

xijk[0][1] = 1.00 xijk[1][5] = 1.00 xijk[2][9] = 1.00 xijk[5][11] = 1.00 xijk[6][7] = 1.00

xijk[7][2] = 1.00 xijk[9][0] = 1.00 xijk[11][6] = 1.00

Veículo 3:

xijk[0][8] = 1.00 xijk[3][4] = 1.00 xijk[4][13] = 1.00 xijk[8][3] = 1.00 xijk[10][12] = 1.00
xijk[12][0] = 1.00 xijk[13][10] = 1.00

Capacidade rotas:

122

218

206

Tempo rotas:

3120.00

12656.00

14331.00

Distância rotas:

9075.00

77035.00

197971.00

Anexo 6

Coordenadas Polares

0.054493 209.757324

0.091310 163.625519

0.260306 74.566811

0.432789 51.015518

0.096397 183.289474

0.204813 161.624023

0.184348 163.529953

0.535699 107.732994

0.041967 109.335030

0.047243 16.392151

0.212470 189.533600

0.015177 326.222076

0.151667 58.401562

0.016157 248.954727

0.022878 162.263702

CLUSTERS

4 13 3 8 9

6 15 7 2 5 11 1

14 12 10

rotas da solucao

0 4 13 3 8 9

1 11 6 7 5 2 15 0

10 12 14 0

Tempos da solucao

14309.00 12440.00 4739.00

Distância da solucao

218992.00 73393.00 19848.00

solucao_rotas com melhoramento

0 4 13 3 8 9

1 11 6 7 5 2 15 0

10 12 14 0

Tempos da solucao com melhoramento

14309.00 12440.00 4739.00

Distância da solucao com melhoramento

218992.00 73393.00 19848.00

Capacidade da solucao com melhoramento

197 213 136

Distancia total da melhor solução

312233.00

Distancia total de todas as soluções

336441.00	335625.00	335190.00	375333.00	367907.00	375333.00	379189.00
350993.00	348179.00	335190.00	375333.00	375333.00	346390.00	375333.00
375333.00	350993.00	375333.00	346390.00	348179.00	348179.00	379189.00
375333.00	348179.00	350993.00	367907.00	335190.00	350993.00	348179.00
346390.00	375333.00	350993.00	375333.00	312233.00	375333.00	351775.00
375333.00	367907.00	335625.00	350993.00	350993.00	379189.00	350993.00
335190.00	350993.00	312233.00	350993.00	335625.00	367907.00	336441.00
346390.00	350993.00	348179.00	350993.00	375333.00	375333.00	348179.00
375333.00	375333.00	350993.00	312233.00	335625.00	379189.00	367907.00
367907.00	350993.00	346390.00	348179.00	367907.00	336441.00	375333.00
335625.00	348179.00	312233.00	379189.00	367907.00	350993.00	367907.00
336441.00	336441.00	379189.00	375333.00	336441.00	336441.00	350993.00
350993.00	375333.00	375333.00	375333.00	350993.00	379189.00	375333.00
379189.00	350993.00	348179.00	312233.00	375333.00	348179.00	350993.00
350993.00	335625.00					

tempo de CPU 0.2500